



DOTTORATO IN TECNOLOGIA E RAPPRESENTAZIONE
DELL'ARCHITETTURA E DELL'AMBIENTE
XVIII CICLO

dottorando *Alessandro Claudi de Saint Mihiel*
tutor *prof. Mario Losasso*

SUPERFICI MUTEVOLI. LE TECNOLOGIE INNOVATIVE DEI VETRI
CROMOGENICI PER IL PROGETTO DI INVOLUCRI A PRESTAZIONI VARIABILI



Napoli, 29 novembre 2005

INDICE PRVVISORIO

Introduzione

Premessa

Parte I – Le superfici mutevoli nel progetto contemporaneo

LE SUPERFICI MUTEVOLI E I PARADIGMI DEL COSTRUIRE CONTEMPORANEO

- 1. I paradigmi “consolidati” del costruire contemporaneo: leggerezza, flessibilità, trasparenza**
- 2. L'evoluzione del concetto di mutevolezza dal progetto moderno a quello contemporaneo**
- 3. Nuovi paradigmi del costruire contemporaneo e le superfici mutevoli**

L' INTERATTIVITÀ DELLE SUPERFICI MUTEVOLI

- 1. L'interattività con il contesto ambientale**
 - Le nuove componenti percettive del progetto
 - L'edificio come trasmettitore
 - L'edificio come sistema dinamico
- 2. L'interattività con i soggetti fruitori**
 - Spazio geometrico e spazio antropologico
 - Nuovi concetti di funzionalità delle architetture
 - La variabilità dell'impatto sensoriale-emotivo
 - Controllo dell'informazione
- 3. L'interattività con i flussi ambientali per il comfort interno**
 - Controllo dei flussi luminosi
 - Controllo dell'energia termica

- Controllo della ventilazione passiva

MATERIALI, TECNICHE E DISPOSITIVI PER LA MUTEVOLEZZA

1. La mutevolezza dovuta all'utilizzo di tecnologie e dispositivi di tipo meccanico

- Dispositivi retrattili
- Dispositivi ribaltabili
- Dispositivi scorrevoli

2. La mutevolezza ottenuta mediante l'applicazione di tecnologie digitali

- Elementi di sovrascrittura
- Elementi di retroilluminazione
- Elementi di videoproiezione
- Schermi LED e LCD

3. La mutevolezza risultante dalle caratteristiche intrinseche di nuovi materiali

- Materiali speciali
- Smart materials
- Nanotecnologie
-

Parte II – I vetri cromogenici e la mutevolezza delle superfici

TIPOLOGIE E CARATTERISTICHE DEI VETRI CROMOGENICI

- 1. Vetri fotocromici**
- 2. Vetri termocromici**
- 3. Vetri elettrocromici**

4. Vetri LCD

LO STATO DELLA RICERCA

- 1. La ricerca istituzionale**
- 2. La ricerca delle aziende produttrici**

UN APPROFONDIMENTO TEMATICO: L'IMPIEGO DEI VETRI LCD NEL PROGETTO ARCHITETTONICO

- 1. Superfici con vetri LCD e nuovi requisiti del progetto**
 - Il valore aggiunto nell'impiego dei vetri LCD
 - Le gamme di produzione dei vetri LCD
 - Le applicazioni del priva-lite
- 2. Schedatura di soluzioni progettuali**
 - Tecnologie LCD nell'involucro
 - Tecnologie LCD nelle partizioni

L'IMPIEGO DEI VETRI LCD NELLE FACCIATE A PRESTAZIONI VARIABILI

- 1. I VETRI LCD NELLE SUPERFICI INTERATTIVE**
 - L'incremento e la variabilità delle prestazioni
 - Requisiti di aspetto
 - Requisiti di benessere
- 2. L'INTEGRAZIONE CON LE VARIE PARTI DELL'EDIFICIO**
 - Il sistema integrato involucro-struttura
 - L'integrazione con gli allestimenti interni
 - L'integrazione con il sistema impiantistico

3.L'interazione con l'ambiente esterno

- Il controllo delle condizioni di comfort
- Condizioni di tipo percettivo-sensoriale involucro con tecnologia LCD

4. Le modalità di assemblaggio

5. Sistemi di gestione della mutevolezza

CONCLUSIONI

1. I limiti della tecnologia LCD nelle applicazioni per l'edilizia
2. Le condizioni per un utilizzo diffuso della tecnologia LCD
3. Scenari PER LO sviluppo della tecnologia LCD

BIBLIOGRAFIA

Introduzione

Nell'ambito della ricerca finalizzata alla impostazione della tesi di Dottorato, è stato approfondito lo studio delle tecnologie per la mutevolezza delle superfici degli edifici ed in particolare l'applicazione in campo architettonico delle tecnologie cromogeniche per le superfici trasparenti..

Tale studio è partito dal presupposto che, nella continua evoluzione di materiali e tecniche di produzione, le superfici trasparenti sono state oggetto in questi ultimi anni di specifiche innovazioni radicali nel campo delle tecnologie del vetro e di significative e poco note innovazioni incrementali, attraverso l'integrazione con altre tecnologie appartenenti a diversi settori in cui l'innovazione risultava più spinta quali quelli della chimica applicata, della fisica e dell'ingegneria elettrica.

Inoltre si è contribuito alla sistematizzazione e alla definizione di quadri di classificazione delle tecniche di realizzazione delle superfici mutevoli, sviluppando altresì un inquadramento critico del problema. Attraverso i contatti diretti con il mondo della produzione e della ricerca ha inoltre fornito un aggiornamento delle tecnologie del vetro nei risvolti innovativi, sperimentali e applicativi nel progetto architettonico, in un ambito in cui la letteratura scientifica non ha ancora registrato e codificato i segnali delle trasformazioni in atto, inquadrando le potenzialità e i punti ancora critici delle tecnologie in questione, delineando futuri scenari e possibilità di applicazione.

Premessa

Da progetti prototipo in cui erano evidenziate alcune qualità orientate alla sperimentazione di nuovi contenuti, attualmente si assiste ad una sorta di trasposizione di queste qualità sperimentali verso paradigmi ricorrenti – limitatamente ad alcuni ambiti della ricerca progettuale – che diventano requisiti imprescindibili del progetto.

Nel progetto sono richieste ulteriori competenze specialistiche che si aggiungono alla già sperimentata apertura dell'apporto di altri specialismi proprio della progettazione integrata. Infatti il contributo di artisti, scenografi esperti di marketing e curatori di immagine si affianca alle figure consolidate del processo edilizio.

Una tra le più importanti idee correnti è quella secondo cui il flusso informativo contemporaneo risulta più ricco ed intenso di quanto sia mai accaduto precedentemente, aprendo alla cosiddetta società della conoscenza. In questo quadro si assegna alla tecnica un ruolo liberatorio delle energie e delle potenzialità degli individui.

Sul versante opposto l'eccesso del flusso di informazioni e del numero delle loro connessioni con la prevalenza del virtuale può determinare forme aberranti di individualismo e desertificazione delle forme collettive.

L'evoluzione dei supporti informatici, delle tecniche di costruzione, dell'utilizzo di tecnologie avanzate ha consentito un profondo e radicale cambiamento da parte dei progettisti nel porsi il problema del progetto, della realizzazione di un manufatto, determinando un'architettura che nasce e si conforma da flussi materiali ed immateriali. L'architetto

giapponese Toyo Ito scrive: “Sono da sempre interessato al flusso e al movimento. Lo spazio urbano è composto da strutture architettoniche ‘statiche’, attraversate però da flussi eterogenei di informazioni, come persone, oggetti o elementi naturali, come l’acqua e il vento che creano uno spazio ibrido e immateriale. Nessuna immagine può racchiudere i suoi infiniti linguaggi, divenuti sempre più ‘immateriali’.”

Parte I – Le superfici mutevoli nel progetto contemporaneo

LE SUPERFICI MUTEVOLI E I PARADIGMI DEL COSTRUIRE CONTEMPORANEO

- 1. I paradigmi “consolidati” del costruire contemporaneo: leggerezza, flessibilità, trasparenza**
- 2. L’evoluzione del concetto di mutevolezza dal progetto moderno a quello contemporaneo**
- 3. Nuovi paradigmi del costruire contemporaneo e le superfici mutevoli**

Leggerezza, trasparenza, flessibilità, luminosità, riflessione, sono termini ancora oggi utilizzati che sintetizzano l'evoluzione del pensiero progettuale a partire dal Crystal Palace di Paxton fino alla Fondazione Cartier di Nouvel passando per Philip Johnson, Mies e tanti altri interpreti della modernità.¹



Farnsworth House, Mies van der Rohe, Plano, Illinois, 1951

¹ Negli anni Venti del Novecento architetti come Walter Gropius o Le Corbusier o Mies van Der Rohe ebbero la capacità di riformulare "completamente" l'architettura sulla spinta del nuovo mondo meccanico e industriale. Fu una rivoluzione perché l'architettura modificò allora tutti i parametri del proprio operare assorbendo i processi seriali, razionali, standardizzabili e tipizzabili della produzione industriale. L'architettura fece propri questi processi sia interiorizzandoli come metodo di lavoro, sia assumendoli come parametri "oggettivi" per valutare o meno il raggiungimento di una nuova qualità. In F. De Luca, M. Nardini, *Dietro le quinte, Tecniche di avanguardia nella progettazione contemporanea*, Testo&Immagine, Torino, 2003.

Omaggio al mito modernista della Glasarchitektur gli edifici realizzati nella seconda metà del secolo scorso hanno rappresentato, con enfasi, la negazione del volume, la smaterializzazione degli involucri tramite l'eliminazione della massa opaca.

“Ai nostri tempi si sta delineando un’idea più complessa e molteplice di trasparenza che punta alla smaterializzazione dell’architettura, strumento di potenziamento della propria immagine attraverso l’acquisizione di nuove inedite simbologie, non tanto tramite l’eliminazione della sa massa opaca, quanto piuttosto attraverso la valorizzazione delle superfici trasparenti.”²

² S.Altomonte, *L'involucro architettonico come interfaccia dinamica-strumenti e criteri per un'architettura sostenibile*, Alinea, Firenze, 2004



Fondazione Cartier, Jean Nouvel,

Parigi, 1994

Le superfici vetrate assumono nuove valenze che si aggiungono a quelle già sedimentate da architetti, costruttori e fruitori degli spazi nel corso degli ultimi decenni. “Le pareti vetrate diventano un grande vetro duchampiano attraverso il quale guardare oltre ma su cui, altresì, soffermarsi per apprezzare ciò che compare sulla sua superficie.”³

Durante gli ultimi anni della fine dello scorso secolo si è verificato un sostanziale spostamento da un paradigma meccanico ad uno elettronico, dall'utilizzo di tecnologie meccaniche a quello di tecnologie medianiche.

³ L. Dall'Olio, *Arte e Architettura*, Testo & Immagine, Torino, 1997

Confrontiamo, per esempio, un edificio tradizionale e uno contemporaneo. Il primo si definisce per le sue masse, l'organizzazione dei pieni e dei vuoti, i colori, la grana, il sistema costruttivo, l'organizzazione funzionale. Se volessimo paragonarlo a un corpo diremmo: si caratterizza per i rapporti tra le parti, per l'ossatura, i muscoli. Il secondo ci colpisce, invece, per come interagisce con l'ambiente circostante: per il modo, cioè, con cui capta la luce, si rapporta alle condizioni climatiche esterne e interne, ci mette in relazione con suoni, odori, colori e si cura del nostro comfort. Se volessimo paragonarlo a un corpo, parleremmo di sistemi percettivi e autoregolativi.

Ma –afferma Ito– se l'architettura diventa un sensore che ci mette in relazione con il mondo esterno "dobbiamo fare in modo che sviluppi e affini la propria epidermide al fine di diventare particolarmente sensibile a captare il flusso degli elettroni".

Sostituiamo adesso al termine "flusso degli elettroni" le parole "flusso delle informazioni e degli eventi".

Paradigma

Il concetto di paradigma introdotto da Thomas S. Kuhn nel suo libro *The Structure of Scientific Revolutions* del 1962 è stato concepito affinché la teoria dell'evoluzione della conoscenza si accordasse meglio con il processo reale dello sviluppo scientifico.

Lo stesso autore ammise nel 1969: “Parecchie difficoltà del mio testo si accentrano attorno al concetto di paradigma”⁴ che Khun definiva come “Elemento che rappresenta l'intera costellazione di credenze, valori, tecniche, condivise dai membri di una data comunità”, ed ancora, “Un paradigma è ciò che viene condiviso dai membri di una comunità scientifica, e, inversamente, una comunità scientifica consiste di coloro che condividono un certo paradigma”.

Interessante è anche la suddivisione in 4 principali stadi della nascita, dello sviluppo e della crisi e rivoluzione dell'evoluzione scientifica. Lo studioso americano individua in particolare una fase che definisce preparadigmatica, un periodo di ricerca che inizia con l'emergere del paradigma, un periodo di crisi in cui il paradigma fino ad allora accettato incontra dei problemi che esso stesso ha generato ma che non può risolvere ed infine, il periodo di rivoluzione in cui emerge un nuovo paradigma che rende nuovamente possibile la ricerca.

E' Importante puntualizzare che il nuovo paradigma non è una conseguenza logica, un affinamento o una generalizzazione del suo predecessore ma è un nuovo modo di vedere ed interpretare i fenomeni. Quindi, il mutamento non può essere descritto e ricostruito solo sulla base di considerazioni logiche e metodologiche ma anche attraverso la comprensione di fattori esterni alla logica di tipo psicologico e sociologico.

⁴ Thomas S. Kuhn, *The structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, 1962, (trad. it. Einaudi, Torino 1978).

Il paradigma informatico

Il centro della Rivoluzione informatica non sono tanto le informazioni, il loro immenso numero o la perenne mutevolezza, quanto la capacità degli atomi informativi d'essere interconnessi, interrelati. In quest'inizio secolo stiamo navigando in un momento di trapasso da una prima fase di applicazione dell'informatica nei suoi aspetti più evidenti e superficiali ad una fase molto più matura in cui l'informatica sta entrando direttamente nell'essenza stessa dell'architettura. La sfida che ci è di fronte non è solo quella di fare un'architettura che sia narrativa e metaforica, come lo è parte di tutta l'architettura di oggi, ma come riuscire a realizzare un'architettura che possa incorporare questo livello complesso, interrelato, mutante, estremamente dinamico, che caratterizza il fulcro del paradigma informatico.

Possiamo inoltre far trasformare l'architettura in maniera intelligente in risposta al mutare delle situazioni climatiche o ambientali e possiamo anche farla mutare al mutare di scenari d'uso. Non soltanto si possono modificare interattivamente una serie di meccanismi legati direttamente all'elettronica (dalle luci agli elettrodomestici, alle musiche, ai sistemi di controllo) ma anche i materiali stessi, che possono mutare con delle microfibre nei rivestimenti, nel vetro, addirittura nei nuovi marmi e cambiare nella grana, nella porosità, nella capacità di assorbimento del suono o del colore. L'architettura insomma può reagire, ma può anche inter-reagire e cioè adattarsi al mutare dei desideri degli utenti attraverso scenari percorribili come se fossero un ipertesto.

*“Secondo la pragmatica emergente di
creazione e comunicazione, distribuzioni
nomadi di informazioni fluttuano su un
immenso piano semiotico deterritorializzato.
E' dunque naturale che lo sforzo creativo
si sposti dai messaggi ai dispositivi, i processi,
i linguaggi, le “architetture” dinamiche, gli ambienti”⁵.*

Interattività, non-linearità, instabilità, multisensorialità, sono tra i principali paradigmi della cultura contemporanea, nati ed affermatasi in seguito all'ultima rivoluzione del nostro tempo, quella informatica.

Tra gli aspetti caratterizzanti la società, passata a bisogni sempre più complessi e diversificati, la rivoluzione informatica⁶ è tra quei fenomeni in grado di influenzare e modificare sostanzialmente le abitudini, la cultura e le regole del nostro tempo.

“Architettura, arte, letteratura, cinema, musica, fotografia, pubblicità, partecipano ed appartengono alla stessa cultura: un'esperienza collettiva, una rete di interconnessioni dove l'architettura è entrata, attraverso la forza delle idee, come libera espressione di utopie, programmi e narrazioni

⁵ P. Lévy, *L'intelligence collective. Pour une anthropologie du cyber space*, La Découverte, Paris, 1994

⁶ Il centro della Rivoluzione informatica non sono tanto le informazioni, il loro immenso numero o la perenne mutevolezza, quanto la capacità degli atomi informativi d'essere interconnessi, interrelati. In quest' inizio secolo stiamo navigando in un momento di trapasso da una prima fase di applicazione dell'informatica nei suoi aspetti più evidenti e superficiali ad una fase molto più matura in cui l'informatica sta entrando direttamente nell'essenza stessa dell'architettura. La sfida che ci è di fronte non è solo quella di fare un'architettura che sia narrativa e metaforica, come lo è parte di tutta l'architettura di oggi, ma come riuscire a realizzare un'architettura che possa incorporare questo livello complesso, interrelato, mutante, estremamente dinamico, che caratterizza il fulcro del paradigma informatico. In A. Saggio, *in introduzione*, F. Barzon, *La carta di Zurigo*, Testo & Immagine, Torino, 2003.

che trovano nella rappresentazione e nella sfera digitale un'essenziale forma di espressione creativa.”⁷

Le valenze sociali, economiche, culturali della disciplina architettonica impongono una reinterpretazione di quei paradigmi progettuali quali la leggerezza, la trasparenza, la flessibilità, la sostenibilità che hanno costituito i capisaldi della progettazione e della costruzione in architettura del secolo passato.

Secondo una nuova coscienza scientifica, basata sul concetto Prigoginiano della complessità, secondo cui la realtà non è riconducibile a eventi lineari e ripetitivi, ma è molteplice e varia, ci si è resi conto che i fenomeni della discontinuità, della non-linearità, dell'irregolarità, sono parte della complessa realtà contemporanea e contribuiscono alla sua conoscenza imparziale e mai assoluta.⁸

Il progetto di architettura, prendendo coscienza di questa complessità, del cambiamento dei molteplici bisogni della società, dell'ampliamento delle facoltà sensoriali umane potenziate dalla realtà tecno-informatica, deve adattarsi ai nuovi paradigmi della contemporaneità e perdere l'idea di progetto come sistema decisionale assoluto. Il pericolo è quello prefigurato da Umberto Galimberti quando mette in guardia dalla perdita di controllo, anche in architettura, dei mezzi dell'innovazione prefigurando un mondo dove la tecnica si autoriproduce e all'uomo è rimane solo il ruolo di funzionario dalla tecnica.⁹

7 L. Sacchi, M. Unali (a cura di), *Architettura e cultura digitale*, Skira, Milano, 2003.

8 M Lavagna, *Intenzionalità e Progetto. Temi e interpretazioni del costruire contemporaneo*, Clup, Milano, 2002.

9 U. Galimberti, *Psiche e Teche. L'uomo nell'era della tecnica*, Feltrinelli, 1999

L'architettura, rispecchiando l'effimero e la transitorietà della cultura contemporanea, si fonda sempre più sull'immagine e, come afferma Dorfles, questa condizione è ancora più accentuata dal capitalismo e dal consumismo che permeano la nostra società e fanno dell'effimero la chiave della loro esistenza e perpetuazione.¹⁰

Grazie alle nuove tecnologie, le tecnologie che costituiscono le diverse parti degli edifici mutano, si trasformano, diventano membrane osmotiche, cambiano la loro configurazione in relazione a parametri ambientali come il sole, il vento, o a parametri quali i flussi di traffico, di persone, di informazioni.

Mark Taylor nel suo libro *Hiding*¹¹ (Nascondersi) asserisce che tutto si riduce al problema della pelle e delle ossa. La pelle non è semplicemente una superficie che riveste il nostro organismo interno. La pelle è piuttosto un organo esso stesso, costituito da strati differenti intrecciati l'uno nell'altro. È una superficie continua a dispetto del suo stesso spessore e della sua stessa profondità. In un momento in cui le complessità della cultura contemporanea diventano sempre più pervase dalle tecnologie digitali, l'architettura sta per prendere parte ad un inedito congiungimento. Interprete dell'evoluzione del pensiero progettuale ed autore di emblematiche costruzioni come la torre dei venti di Yokohama, Toyo Ito è tra quei protagonisti della scena architettonica mondiale capace di coniugare aspetti tecnici e costruttivi con altri di carattere effimero-comunicativo.

¹⁰ G. Dorfles, *Dal significato alle scelte*, Einaudi, Torino, 1973.

¹¹ M. C. Taylor, *Hiding*, The University of Chicago Press, 1997

L'architetto giapponese scrive: "Sono da sempre interessato al flusso e al movimento. Lo spazio urbano è composto da strutture architettoniche statiche, attraversate però da flussi eterogenei di informazioni, come persone, oggetti o elementi naturali, come l'acqua e il vento che creano uno spazio ibrido e immateriale. Nessuna immagine può racchiudere i suoi infiniti linguaggi, divenuti sempre più immateriali."¹²

Superficie

Tra le questioni maggiormente dibattute e trasversali dell'architettura recente c'è senz'altro il tema della "superficie". Sottoposti all'azione combinata della richiesta di prestazioni funzionali sempre più sofisticate e delle soluzioni in grado di soddisfarle, gli edifici assistono infatti a una evidente moltiplicazione dei loro elementi costitutivi. Dall'iniziale scissione tra struttura portante e partizioni spaziali si è infatti passati alla sovrapposizione negli involucri di molteplici strati, ciascuno dedicato a mediare il rapporto tra interno ed esterno in termini climatici, acustici, energetici, di resistenza all'usura ecc. L'attenzione rivolta dai progettisti alle pelli degli edifici (diventate nel frattempo una delle voci maggiormente incisive sui costi) è a questo riguardo particolarmente significativa.

L'architettura contemporanea ha insito in sé un diffuso conflitto fra produzione e rappresentazione. La concezione delle finiture superficiali degli edifici oscillerebbe oggi tra la semplice espressione di metodiche di assemblaggio e una riproduzione "pittorica", più o meno tecnologicamente

¹² S. Perrella, R. Carpenter, *Mobius House Study*, 1998

avanzata, di modi costruttivi tradizionali. Nel primo caso il "progetto della rappresentazione" rischierebbe di essere praticamente escluso, mentre nel secondo ne deriverebbe una versione nostalgica, rinunciataria rispetto alle nuove possibilità.

“Ogni superficie è un’interfaccia tra due ambienti in cui regna un’attività costante sotto forma di scambio fra le due sostanze poste a contatto”.

Questa nuova definizione scientifica della nozione di superficie ci mostra la contaminazione in atto: la superficie limite diventa una membrana osmotica, una carta assorbente...anche se quest’ ultima etimologia è più rigorosa delle precedenti, segnala non di meno una mutazione attinente al concetto di delimitazione. La delimitazione dello spazio diventa commutazione, la separazione radicale diviene passaggio obbligato, transito di una incessante attività di scambi incessanti. Transfer tra due ambienti, tra due sostanze. Ormai l’apparenza delle facciate e delle superfici nasconde una trasparenza segreta, uno spessore senza spessore, un volume senza volume, una quantità impercettibile.

Se questa situazione corrisponde alla realtà dei fatti concernente la fisica dell’infinitamente piccolo, essa riguarda anche quella dell’infinitamente grande: se ciò che visivamente non era nulla diviene qualcosa, inversamente la distanza più grande non occulta più la percezione; la più vasta distesa geofisica si contrae, si concentra. Nell’interfaccia dello schermo tutto è già presente, dato a veder nell’immediatezza di una trasmissione istantanea.

Sono qui a confronto due procedimenti: uno, materiale, costituito da elementi fisici, muri, soglie , piani esattamente situati; l’altro immateriale,

le cui rappresentazioni, le cui immagini, i cui messaggi, non possiedono alcuna localizzazione, alcuna stabilità, poiché sono vettori di un'espressione momentanea, istantanea, con tutte le conseguenze che ciò comporta in termini di manipolazione del senso e di interpretazioni sbagliate.

Il primo procedimento, architettonico e urbanistico, organizza e costruisce lo spazio geografico e politico ormai durevole, l'altro occupa e sgombera in modo imprevedibile lo spazio-tempo, il continuum delle società. Si tratta, insomma di tracciare lo statuto dell'architettura contemporanea all'interno del dissonante concerto delle tecnologie avanzate.

Virtuale

Wittgenstein, Eco, Arakawa, Cicerone, Jung dimostrano che la mente ricorre a metafore spaziali per visualizzare le proprie strutture concettuali e che lo spazio virtuale della mente si arricchisce in un confronto continuo con le concrete realizzazioni spaziali dell'architettura.

Nota William J. Mitchell: "Apparentemente gli spazi elettronici negano qualsiasi geometria. Sono, infatti, spazi logici, mentali. Prendiamo per esempio Internet : "la Rete è fondamentalmente e profondamente *antispaziale*. Non ha niente a che vedere con Piazza Navona o Copley Square. Tu non puoi sapere dove si trovi o descrivere le sue forme e proporzioni o indicare a un turista come raggiungerlo. La Rete è un ambiente - in nessun posto in particolare, ma contemporaneamente dappertutto. Tu non vai là, ma vi entri attraverso una parola (*log in*) da

qualunque posto in cui ti trovi. Nel fare questo tu non effettui una visita nel senso tradizionale; stai solo compiendo un atto del parlare che ti garantisce l'accesso, come se dicessi: *apriti sesamo*". Eppure la rete ricorre a metafore spaziali: hai un indirizzo, cerchi un sito, navighi nel cyberspazio.

Senza queste metafore ci si perderebbe: l'enorme successo di Macintosh – che ha costretto IBM ad abbandonare il più astratto DOS per il più spaziale Windows – è stato rappresentato dalla facilità per l'utente di usare un interfaccia, che è la perfetta metafora di una scrivania.

E sorprendenti sono le affinità di questa scrivania elettronica con le strategie della memoria di Cicerone e di Seneca. È ,infatti, formata da cartelle ciascuna delle quali contiene altre cartelle, esattamente come nelle stanze della memoria architettate dai nostri antenati per strutturare i propri ricordi.

Considerato da questo punto di vista, il virtuale non è altri che la formalizzazione del pensiero, la trasformazione del pensiero in spazio architettonico.

La spazializzazione può essere molto semplice. Le cartelle di Macintosh, proprio perché ricorrono a sistemi di formalizzazione spaziali già collaudati da millenni, sono particolarmente semplici e quindi immediatamente percepibili da tutti. Le formalizzazioni di Arakawa inseguono, invece, nuove forme del pensiero e quindi producono sgomento e sconcerto.

Interattività

L'interattività è l'elemento catalizzatore di questa fase della ricerca architettonica perché 1. al suo interno ricade il sistema di comunicazione contemporaneo basato sulla "possibilità di creare metafore" e quindi di navigare prima e di costruire poi sistemi ipertestuali; perché 2. l'interattività pone al centro il soggetto (variabilità, riconfigurabilità, personalizzazione) invece dell'assolutezza dell'oggetto (serialità, standardizzazione, duplicazione); perché 3. l'interattività incorpora la caratteristica fondamentale dei sistemi informatici, e cioè la possibilità di creare modelli interconnessi e mutabili di informazioni continuamente riconfigurabili e infine perché l'interattività gioca strutturalmente con il tempo e indica un'idea di continua "riconfigurazione spaziale" che cambia i confini consolidati sino ad oggi sia del tempo che dello spazio.

La sfida in questo settore è allora non solo quella di creare metafore predefinite (per esempio la produzione di un artista è esposta nel suo studio virtuale), ma anche quella di poter avere "metafore mobili", riconfigurabili interattivamente ciascuna volta da parte del fruitore. Sempre più numerosi sono i sistemi capaci di creare vere e proprie metafore personalizzabili (si pensi ad esempio alla creazione di scenari giocabili o visitabili attraverso l'utilizzo di tecniche. L'interattività spinge la sfera della comunicazione contemporanea verso un livello più complesso: a metafore e immagini già definite si comincia a sostituire l'idea che possiamo essere noi stessi a creare le nostre metafore. Questa è la grande scommessa del mondo della comunicazione ipertestuale. È una battaglia aperta, una

battaglia anche politica, anche sociale che implica lo sviluppo di un senso critico sempre più maturo. L'interattività comporta che l'architettura può essere continuamente modificabile e diventare, un ambiente sensibile in costante trasformazione. Un ambiente che può reagire e adattarsi anche al mutare dei desideri degli utenti attraverso la creazione di scenari percorribili come fossero ipertesti. L'architettura di oggi è *informatizzabile*, incorpora dentro di sé l'essenza dinamica, interconnessa, e soprattutto interattiva del paradigma informatico.

Ora l'interattività negli edifici può comportare non solo variare configurazioni e spazi al variare di desideri o di input esterni ma anche *creare sistemi di riferimento spazio temporali diversi*. Acquisendone coscienza, si capirà come attraverso internet e l'interattività si metterà in azione una formulazione fondamentale: da un sistema inferiore si può avere proiezione di uno di livello superiore. Questa formulazione vuol dire che è possibile, pur essendo fisicamente inseriti in dei limiti spazio temporali tridimensionali, avere idee di uno spazio a più dimensioni del nostro. E usarlo, immaginarlo, un poco capirlo e progettare questo spazio a più dimensioni.

Cercare un modo di vedere, interpretare e costruire il mondo dell'architettura, che sia intimamente e necessariamente interattivo. E qui ritorna il ruolo del catalizzatore.

L'interattività è il reagente chimico, il catalizzatore, di tutte queste componenti. L'interattività ha allo stesso tempo una componente etica e politica, ha una componente tecnica e tecnologica, ha infine una fondamentale componente estetica perché richiede una rivoluzione del

sentire che spinge una nuova coscienza della contemporaneità. Guardando molto sinteticamente al cambiamento del quadro dell'architettura contemporanea si può dire che se del Movimento Moderno la formula era, giustamente, *Neue Sachlichkeit* (Nuova oggettività) la formula di oggi non può che essere Nuova soggettività. E di questa Nuova soggettività l'interattività è la chiave.¹³

Evento

La nozione di evento, con il suo carattere mutevole e aleatorio, mette in crisi ogni idea di forma espressa attraverso assetti definitivi, ponendo in rilievo quello che accade e soprattutto quello che può accadere in un qualsiasi spazio, anche al di là delle previsioni. È evidente, in questo sforzo di trasformazione della disciplina, non solo il tentativo di mantenersi in contatto con una realtà in costante e accelerata mutazione evolutiva ma anche di ampliare la capacità dell'architetto di rispondere a situazioni che sfuggono alle sue capacità di comprensione e intervento. Si tratta di un approccio che rispetto al sistema di sicurezze che regge la pratica del progetto architettonico risulta tanto destabilizzante quanto aperto a nuovi sviluppi, dove alla intenzione di suddividere e confinare si sostituisce la ricerca e l'amplificazione del possibile, dell'inaspettato.

¹³ Antonino Saggio, L'interattività al centro della ricerca architettonica d'avanguardia, in Cofee break, www.architettura.it

L' INTERATTIVITÀ DELLE SUPERFICI MUTEVOLI

2. L'interattività con il contesto ambientale

- Le nuove componenti percettive del progetto
- L'edificio come trasmettitore
- L'edificio come sistema dinamico

2.L'interattività con i soggetti fruitori

- Spazio geometrico e spazio antropologico
- Nuovi concetti di funzionalità delle architetture
- La variabilità dell'impatto sensoriale-emotivo
- Controllo dell'informazione

3.L'interattività con i flussi ambientali per il comfort interno

- Controllo dei flussi luminosi
- Controllo dell'energia termica
- Controllo della ventilazione passiva

L'architettura fra fisicità e virtualità

Il confine sempre più labile tra mondo fisico e mondo virtuale che sovente supera il limite delle possibilità tecnologiche e delle tecnologie multimediali è sempre più costituito da un mix di riproduzioni elettroniche e di nuovi paesaggi, di comunicazione e rappresentazione.

Le tecnologie di tipo informatico e telematico non costituiscono ancora un settore ben determinato ma piuttosto un terreno di ricerca ed applicazioni in continuo accrescimento e divenire di potenzialità ed utilizzo in architettura.

Tutte le tecnologie riguardanti l'informazione e la comunicazione stanno assumendo un ruolo fondamentale nello sviluppo dell'architettura contemporanea. L'architettura si apre a nuovi ambiti, nuovi scenari estendendo il proprio campo di interesse alla progettazione del "controllo" e gestione di sistemi complessi.

La possibilità e la realizzazione di metodi di interazione tra utente e mondo reale costituiscono un epocale ampliamento e sconvolgimento della disciplina architettonica in generale.

Federic Nantoy afferma che l'architettura non viene più definita attraverso lo spazio che propone ma per la sua capacità di trasformarsi il più rapidamente possibile, di accogliere qualunque cosa senza contraddirsi. L'edificio diventa esso stesso un servizio il cui valore è legato alla possibilità di rispondere a molteplici e differenti richieste.

L'ambiente interattivo è di per se foriero di innovazione perché tende a creare un luogo con cui si possa interagire, ovvero un ambiente capace di fornire e ricevere informazioni.

La caratteristica principale di un ambiente interattivo sta nella creazione di uno spazio illusorio che si materializza sotto la forma di un evento causato dal soggetto.

Affinché si possa attuare questo scambio tra elemento artificiale ed utente dell'opera bisogna ricorrere necessariamente a interfacce che collegano un'azione ad una risposta.

Il fruitore dell'architettura diventa esso stesso soggetto di un'esperienza e a sua volta produttore di un'esperienza; ciò comporta che la progettazione attuale deve comprendere anche il fruitore nel progetto dell'ambiente costruito interattivo.

Interazione dei flussi ambientali

I fattori che determinano la qualità di un ambiente non appartengono tutti alla stessa dimensione dell'esperienza. Elementi come la forma e l'organizzazione funzionale dello spazio, il flusso delle informazioni, le caratteristiche sensoriali, definiscono le relazioni che intratteniamo con l'ambiente al quale reagiamo proprio in funzione delle nostre preferenze a questi fattori.

Ognuno di noi ha reazioni diverse a stimoli sensoriali come quelli dati dalla luce, dal colore, dal microclima, dall'odore, anche dalla forma e dagli schemi delle relazioni spaziali, e difficilmente queste reazioni individuali

ed estremamente soggettive possono essere ricondotte a categorie universali. Non è possibile trovare valori comuni che funzionino per tutti o definire medie di valori che si adattino ad ogni uomo così come nel campo delle dimensioni dello spazio fisico costruito ha proceduto la scienza ergonomica. Si possono considerare solo i dati scientifici che definiscono le condizioni limite, cioè le situazioni in cui non c'è confort ambientale. Queste difficoltà non rendono meno importante l'influenza di queste dimensioni sulle nostre relazioni spaziali considerando i bisogni individuali come se fossero una struttura che si sovrappone e si unisce a quella delle necessità fisiche e dimensionali degli ambienti.

Il progetto di architettura deve arricchirsi di questa dimensione che aiuta, assicurando la possibilità di interagire con gli elementi che costituiscono lo spazio e la presenza di stimoli diversi, a entrare in sintonia con lo spazio in rapporto alle proprie disposizioni. Ogni aspetto legato ai sensi può diventare un vero e proprio scenario, un paesaggio che definisce linee-guida importanti per la stesura del progetto.

Luce, suono, microclima, aspetti cromatici sono tutte componenti della nostra percezione estetica e la loro modulazione influisce in modo consistente sulla qualità dell'ambiente. Fino ad oggi questi fattori sono stati studiati dal punto di vista esclusivamente scientifico facendone emergere l'aspetto tecnico trascurando le componenti più soggettive.

La luce per esempio non è solo responsabile della visibilità ma anche dell'immagine estetica e della sensazione dello scorrere del tempo e va debitamente costruita, schermata, filtrata texturizzata, in modo che l'ambiente risulti più o meno ricco di ombre, di pattern, che il colore e la

luce siano studiati; che la sua composizione, la sua intensità , la sua direzione e la sua geometria contribuiscano in modo significativo alla qualità dei paesaggi luminosi.

MATERIALI, TECNICHE E DISPOSITIVI PER LA MUTEVOLEZZA

1. La mutevolezza dovuta all'utilizzo di tecnologie e dispositivi di tipo meccanico

- Dispositivi retrattili
- Dispositivi ribaltabili
- Dispositivi scorrevoli

2. La mutevolezza ottenuta mediante l'applicazione di tecnologie digitali

- Elementi di sovrascrittura
- Elementi di retroilluminazione
- Elementi di videoproiezione

3. La mutevolezza risultante dalle caratteristiche intrinseche di nuovi materiali

- Materiali speciali
- Smart materials
- Nanotecnologie

Il campo di applicazione dell'architettura è orientato da tempo a comprendere i nuovi territori dello spazio digitale: sistemi instabili, città generiche, zone di passaggio; modificazioni nell'ambito professionale e nel processo produttivo. Attraverso il digitale l'architettura scopre una possibile esplosione delle sue aree di interesse, insinuandosi all'interno di uno spazio esteso, diffuso, abitato da comunità di milioni di persone e tuttavia non progettato, uno spazio che non è più possibile considerare come luogo di sperimentazione astratta, separato dall'ambiente fisico. L'idea stessa di spazio si sta modificando in funzione delle contrazioni temporali e delle nuove dimensioni d'intervento prodotte dai media, con i quali l'architettura entra in un sempre più stretto dialogo. In questo momento di cambiamento è necessario; una riflessione sulle idee e sulle problematiche che descrivono l'attuale condizione, ed un discorso critico sul ruolo e sulle possibili competenze dell'architettura di fronte alle modificazioni prodotte dalla rivoluzione digitale.

Toyo Ito ha scritto di recente: "Attraverso la diffusione di diverse nuove forme di media, la fluidità acquista sempre maggiore validità. Tanto più lo spazio urbano e architettonico è controllato dai media, quanto più esso diventa cinematografico e fluido. Da una parte i nostri corpi materiali non sono altro che un meccanismo primitivo, che assume aria ed acqua e li fa circolare. Dall'altra esiste un altro tipo di corpo all'interno del quale circola informazione, e quel corpo che è connesso al resto del mondo attraverso diverse forme di media contenenti microchips. Oggi siamo obbligati a pensare come combinare

architettonicamente questi due diversi corpi e trovare uno spazio appropriato per lo sviluppo del terzo corpo”¹⁴.

Esistono differenti trattamenti per rendere una facciata di un edificio *mediatica*;

Il più semplice si basa sulla riproduzione di immagini, testi o loghi pubblicitari sullo strato di finitura esterno degli involucri edilizi realizzati con diverse tipologie di materiali.

Esempio è il trattamento di superfici vetrate tramite serigrafia delle stesse, ovvero, applicando prima della tempra del vetro degli smalti ceramici, si realizzano porzioni di lastre opache dalle differenti forme, che emergono rispetto alla superficie trasparente.

Questo sistema consente di ottenere il risultato di comunicare messaggi senza applicazioni di elementi aggiuntivi alla facciata.

Altro sistema è quello della retroilluminazione; utilizzato in edifici spesso costituiti da una doppia facciata, una doppia pelle, corpi illuminanti di vario genere vengono inseriti nell'intercapedine tra i due sistemi di chiusura determinando particolari effetti ottici e luminosi controllati, il più delle volte da software e programmi computerizzati in grado di comporre immagini statiche o in movimento.

Esempio emblematico è la torre dei Venti di Toyo Ito, nei pressi della stazione di Yokohama; avvolta in un cilindro di alluminio perforato e circondata da dodici anelli al neon rivestiti da lastre riflettenti in materiale acrilico, modifica l'immagine del suo prospetto tramite 1280 piccole lampade sensibili all'intensità e alla variazione del vento, della

¹⁴ Stephen Perrella and Rebecca Carpenter, *Mobius House Study*, 1998

luce, della temperatura e al numero dei decibel prodotti dal traffico urbano. Una sorta di meraviglioso caleidoscopio studiato da Ito in collaborazione con il TL Yamagiwa Laboratory e governato da due computer installati ai piedi della torre.



Torre dei Venti, Toyo Ito, Yokohama-shi, Kanagawa, 1986

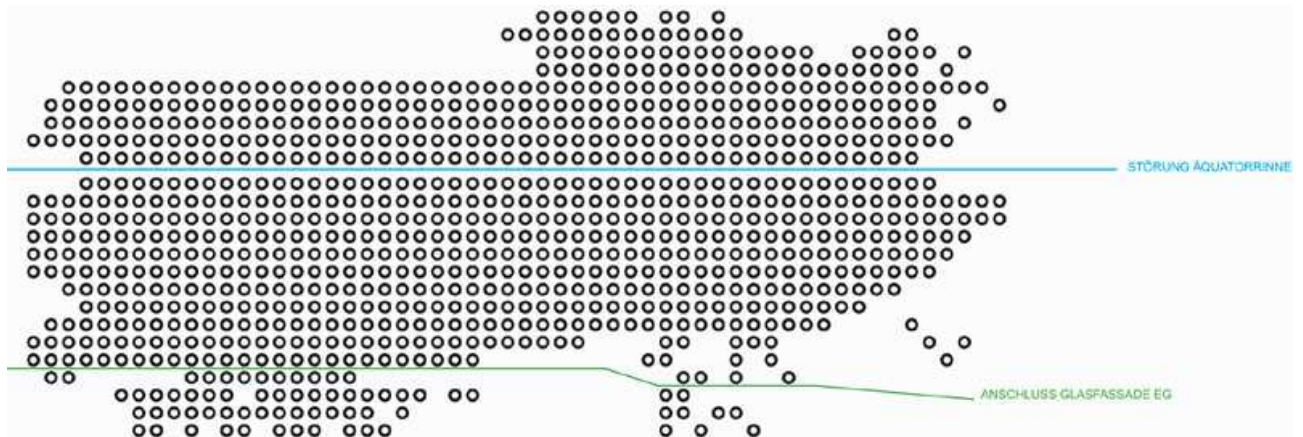
Altro esaustivo esempio e di grande impatto mediatico è la facciata realizzata da due giovani architetti e designer dello studio di Berlino realities:united per il museo di arte contemporanea progettato da Peter Cook, ex archigram – e non è un caso – e Colin Fournier, a Graz in Austria. Al tramonto, dietro l'involucro traslucido di metacrilato (PMMA) color petrolio, occhieggiano 930 luci circolari fluorescenti come fossero *pixel* a scala urbana; la luminosità di ciascuna può essere variata in modo progressivo grazie ad un controllo computerizzato. Per mezzo di un software appositamente ideato, il grande schermo (20mx45m) è in grado di trasmettere filmati con una frequenza di 20 frame al secondo: ne deriva un'immagine evanescente tanto più astratta nella sua incerta bicromia da

superotto, quanto più poetica. Di giorno l'involucro è ricettore degli eventi che lo circondano (sui pannelli traslucidi sono riflesse le cupole tondeggianti della città storica, e le luci fiammeggianti delle automobili in corsa), di notte diviene divulgatore di prodotti dell'arte. "Ancora una volta l'architettura parla il linguaggio e si serve della tecnologia della pubblicità, non la comunicazione esplicita dai contorni definiti del "I am a monument" venturiano, bensì un flusso di energia che veicola un sottile ed implicito messaggio (proprio della meta-pubblicità) che ha nelle allusioni, nella libera interpretazione e nella comunicazione *one to one* la propria forza"¹⁵.



Kunsthaus, Peter Cook e Colin Fournier, Graz, 2003

¹⁵ Anna Cornaro, *Alta tecnologia a bassa risoluzione*, in [www.architettura](http://www.architettura.it) .it

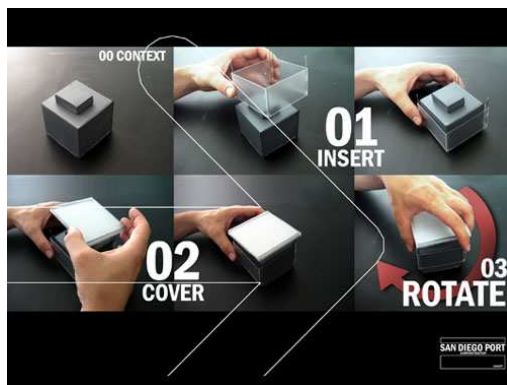


Kunsthhaus, progetto della facciata, Jan e Tim Edler, disposizione dei corpi illuminanti in facciata



Kunsthhaus, Jan e Tim Edler, particolare della facciata

Il sistema della retroproiezione consente di visualizzare su una pelle traslucida realizzata ad una specifica distanza dall'involucro video o immagini grazie a proiettori collocati nell'intercapedine tra i due sistemi di facciata.

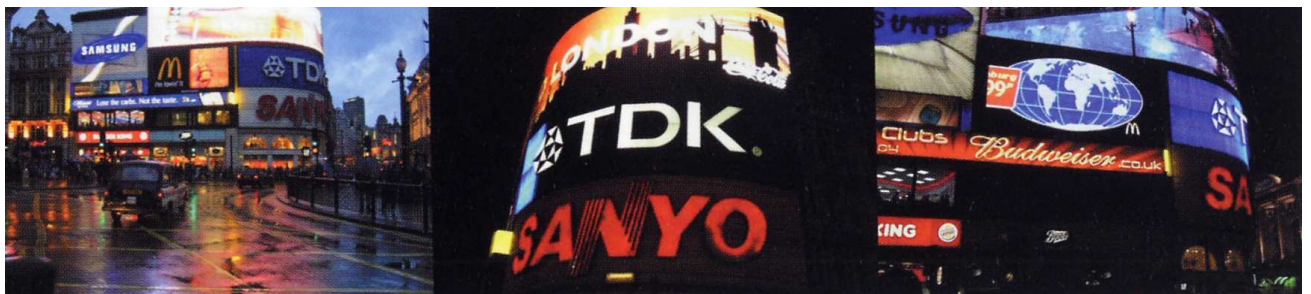


Port Administration, Gianni Ranaulo, San Diego, USA (progetto)

L'applicazione di schermi LED risale agli anni 70 quando alcuni edifici di importanti nodi urbani (Times square a New York e Piccadilly Circus a Londra) furono dotati di pannelli contenenti migliaia di piccole sorgenti di luce (LED) dove è possibile visualizzare infinite e disparate immagini, informazioni, pubblicità.

L'ultima frontiera dell'innovazione nell'industria del vetro consente di ottenere un vetro stratificato con interposto un PDLC costituito da particelle di cristalli liquidi che possono, a seconda delle conformazioni, permettere la visione di immagini e filmati o mantenere il materiale trasparente.

Con l'utilizzo di questa tecnologia schermo su cui si legge l'immagine e involucro dell'edificio coincidono.









Piccadilly Circus, Londra



Times Square, New York city

I materiali ad alte prestazioni

NUOVE		
Aerogel <p>Gli aerogel sono materiali costituiti da particelle di silice (il costituente principale del vetro) la cui disposizione realizza grazie a particolari processi produttivi delle strutture microcellulari porose.</p>  	<p>Il settore di maggiore utilizzo degli aerogel è il settore aerospaziale. Nel settore edilizio gli aerogel grazie alle caratteristiche di isolamento termico, trovano applicazione come materiali di riempimento delle intercapedini tra due vetri. Una volta installati in una vetrata, il valore di trasmittanza termica U è inferiore a 0.5W/m²K, la trasmissione luminosa Tv è superiore al 70% ed l'energia solare trasmessa è superiore al 75%. L'aerogel di silice non è infiammabile, non è tossico ed è termicamente stabile fino a temperature di 650°C.</p>	<p>Attribuita Assenza dell'emissione di sostanze nocive Isolamento termico Resistenza al fuoco Stabilità chimica - reattiva</p>
Film nanostrutturati <p>I film nanostrutturati di diossido di titanio (TiO₂), in seguito all'esposizione alle radiazioni UV, assumono proprietà superidrofili. Questo consente di ottenere materiali antisporcamento autopulenti.</p>  	<p>I film nanostrutturati di TiO₂ sono impiegati per la realizzazione di vetri autopulenti. In campo edilizio sono applicati su superfici trasparenti o traslucide per finestre e facciate, nei casi di difficile raggiungibilità per operazioni di manutenzione con metodi manuali. Il film di TiO₂ viene applicato su un comune vetro float, è attivato dai raggi ultravioletti della luce solare naturale e si comporta da catalizzatore, decomponendo e sciogliendo lo sporco.</p>	<p>Affidabilità Assenza dell'emissione di sostanze nocive Resistenza agli agenti aggressivi Stabilità chimica - reattiva</p>
Vetri elettrocromici <p>I vetri elettrocromici (EC) reagiscono alle variazioni di grandezza elettrica (tensione e corrente) ed essi applicati con un cambiamento delle proprietà ottiche.</p>  	<p>I vetri elettrocromici sono impiegati per la produzione di finestre standard isolate con 2 pannelli, intercapedine e 2 fili composti all'impianto elettrico. Il consumo è inferiore a quello di una lampada ad incandescenza da 75 Watt. Fungono da interruttore in grado di regolare la luminosità, stimolando gli sensori ultra sottili della pellicola a scivolare a scivolare.</p>	<p>Affidabilità Affidabilità all'integrazione impiantistica Controllo del flusso luminoso Manutenibilità Pulibilità</p>
Vetri a cristalli liquidi <p>I vetri a cristalli liquidi (LCD) sono in grado di variare dinamicamente dalla trasparenza alla totale opacità, il loro funzionamento è controllabile ed una vera e propria molecola.</p> 	<p>I vetri LCD sono impiegati sia per applicazioni interne sia per applicazioni esterne. Sono adatti per edifici commerciali, perché offrono la possibilità in modalità OFF di essere utilizzati come schermo di videoproiezione.</p>	<p>Attitudine all'integrazione impiantistica Comodità d'uso e manovra Controllo del flusso luminoso Manutenibilità</p>

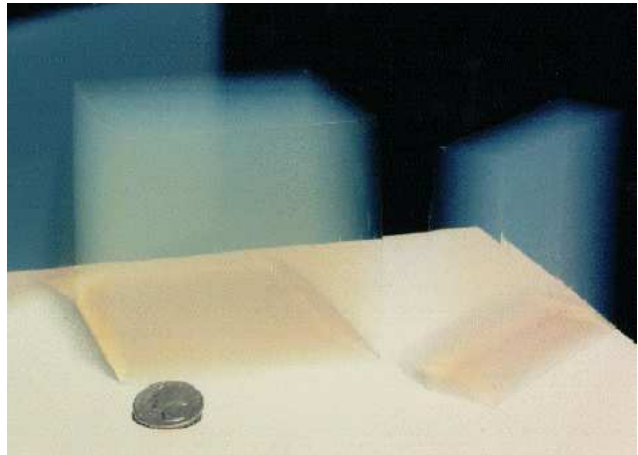
Gli aerogel

L'aerogel è il materiale più leggero e coibente esistente al mondo. Esso è prodotto disidratando un gel siliceo in condizioni supercritiche. Il materiale finale risulta, pertanto, composto da una matrice solida estremamente porosa, dato che la parte solida rappresenta appena il 5% del volume del materiale.

Le caratteristiche principali del materiale sono: **leggerezza** – pesa appena 3 volte l'aria e 10 volte meno del più leggero coibente termico –, **trasparenza** – il diametro medio sia della particella primaria costituente il materiale sia dei pori risulta sensibilmente inferiore alla lunghezza d'onda della radiazione visibile – e **resistenza** al passaggio del calore – vista la esigua frazione di solido di cui è composto il materiale.

La coibenza termica viene ulteriormente aumentata quando si elimina il trasporto di calore per convezione del gas interno ai pori, mediante applicazione sotto vuoto. I valori di coibenza, in questo caso, risultano sensibilmente maggiori di quelli dei migliori coibenti in fibra minerale.

I problemi principali nell'applicazione consistono nella elevata fragilità e nel comportamento idrofobo della superficie, entrambi conseguenti ad una bassa resistenza a trazione del materiale.



Tutti problemi che si possono risolvere inserendo l'aerogel nell'intercapedine di un sistema vetrato e depressurizzando successivamente l'intercapedine.

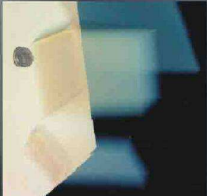
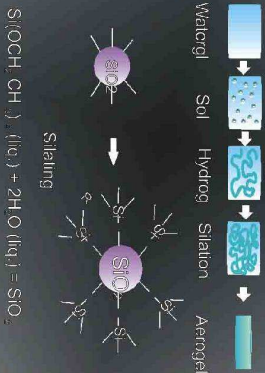
GLI AEROGEL

COMPOSIZIONE

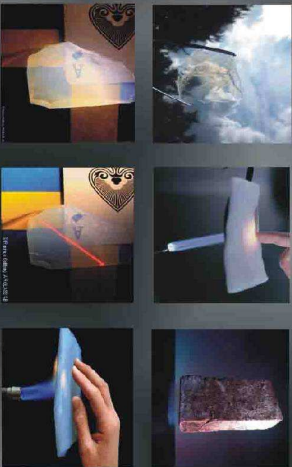
Gli aerogel sono materiali costituiti per il 96% d'aria e il restante 4% da una matrice di diossido di silicio SiO_2 . I primi campioni di aerogel furono prodotti nel 1931, quando il chimico statunitense Samuel Kistler tentò di disidratare un gel di silice contenente acqua senza farlo restringere. Gli aerogel vengono

PRODUZIONE

TECNOLOGIA DI

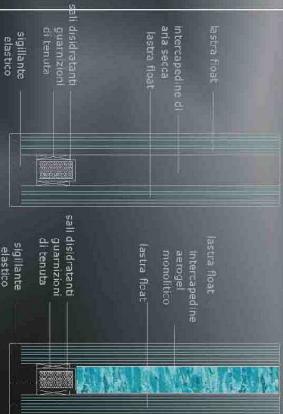


L'aerogel prodotto in forma granulare presenta un aspetto lattiginoso quello prodotto in forma monolitica è organizzato in lastre e risulta trasparente alla vista, idoneo, quindi per l'utilizzo in vetrate in cui sia richiesta la visione dell'esterno. Utilizzando l'aerogel granulare sotto forma di pezzi tralucenti irregolari è possibile ottenere un'elevata trasmissione solare ($T_s=88\%$) ed un'elevata trasmissione luminosa ($T_v=95\%$). Per evitare il cedimento dei granuli è necessario inserirli all'interno di due




Vetro camera con intercapedine d'aria secca o aerogel

L'aerogel monolitico viene impiegato per la produzione di lastre con dimensioni massime 60x60x3 cm.



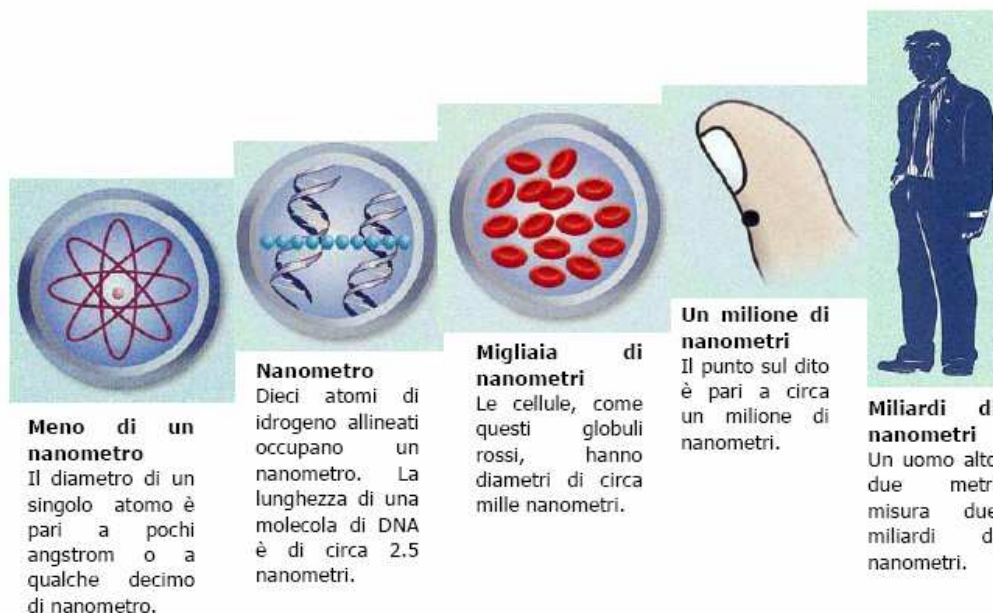
PRESTAZIONI OFFERTE DAL MATERIALE

AFFIDABILITA'	In condizioni di uso normali, senza passaggio d'aria e senza umidità, il materiale mantiene i livelli prestazionali previsti.
ASSENZA	Il materiale non emette sostanze tossiche, anche se sottoposto a forti fonti di calore.
CONTROLLO DEL FATTORE LUMINOSO	Le proprietà ottiche degli aerogel sono similari a quelle del vetro, ma da queste differiscono in quanto il materiale manifesta una lieve caligine.
ISOLAMENTO TERMICO	La propagazione del suono negli aerogel è più lenta che nell'aria, risultando dell'ordine di 100 m/s per una densità di 0,07 gr/m ³ , una delle più basse velocità tra i materiali solidi.
ISOLAMENTO TERMICO	Gli aerogel presentano un ottimo potere isolante, possono raggiungere valori di conduttività dell'ordine di 0,01-0,02 W/m ² °C, grandezze comparabili a quelle dei materiali opachi usati in edilizia.
STABILITÀ CHIMICO - REATTIVA	Il materiale conserva la propria composizione chimica nel tempo.
REGOLARITÀ DELLE FINITURE	Il materiale viene sigillato nell'intercapedine, la lastre assume un aspetto completamente trasparente.
RESISTENZA AL FUOCO	Il materiale conserva ottime prestazioni in presenza del fuoco. L'aerogel di silice non è infiammabile, ed è termicamente stabile fino ad una temperatura di 650 °C.

GLI AEROGEL	
<p>Un materiale nanostrutturato si comporta diversamente dello stesso materiale "normalmente" strutturato. Le nanotecnologie consentono di manipolare le particelle su una scala vicina a quella dei singoli</p> 	<p>I FILM SOTTILI</p> <p>I film sottili costituiscono la forma più immediata d'impiego dei materiali nanostrutturati. La maggiore applicazione di film nanostrutturati di TO₂ è per la realizzazione di vetri autopulenti. I film di diossido di titanio in seguito</p> 
<p>I film nanostrutturati di TO₂ vengono depositi sulla parte esterna del vetro, che può essere impiegato in qualsiasi tipologia di facciata. Le lastre, piane o curve, possono essere forate come i vetri</p>   	<p>Messa in opera delle lastre nelle facciate sospese</p> <p>Le lastre vengono applicate alla struttura portante in acciaio mediante sistemi di fissaggio puntuale, realizzati in modo tale da assorbire gli sforzi di</p>  
<p>Dopo l'installazione del vetro, il rivestimento impiega circa cinque giorni per attivarsi. Per ottenere i migliori risultati dopo l'installazione e la prima pulizia, eseguite dall'installatore, è necessario evitare di lavare le finestre prima che il</p>	<p>Il film di To₂ viene depositato su un comune vetro float, ciò assicura una duplice azione. Il vetro esposto alla luce solare reagisce con lo sporco organico tramite un fotocatalitico: il</p>   
<p>AFFIDABILITA'</p> <p>In condizioni di uso normali il materiale mantiene i livelli prestazionali previsti.</p>	<p>ASSENZA DELL'EMISSIONE DI</p> <p>Il materiale non emette sostanze tossiche.</p>
<p>CONTROLLO DELLA CONDENSAZIONE</p> <p>Il materiale una volta attivato in caso di pioggia presenta proprietà antiappannanti.</p>	<p>COMODITA' D'USO E DI MANOVRA.</p> <p>Il materiale si attiva automaticamente quando è esposto ai raggi UV.</p>
<p>RESISTENZA AL FUOCO</p> <p>Il materiale conserva ottime prestazioni in presenza del fuoco. Non ci sono emissioni di sostanze tossiche per effetto dell'azione degli incendi.</p>	<p>RESISTENZA AGLI AGENTI AGGRESSIVI</p> <p>Il rivestimento una volta depositato sulla lastra non subisce nessuna aggressione da parte di agenti chimici.</p>
<p>RESISTENZA AL GELO</p> <p>Il rivestimento non subisce disgregazioni e/o mutamenti di dimensione ed aspetto a causa della formazione del ghiaccio</p>	<p>STABILITÀ CHIMICO - REATTIVA</p> <p>Il rivestimento conserva nel tempo le proprietà fotocatalitiche.</p>
<p>PRESTAZIONI OFFERTE DAL MATERIALE</p>	

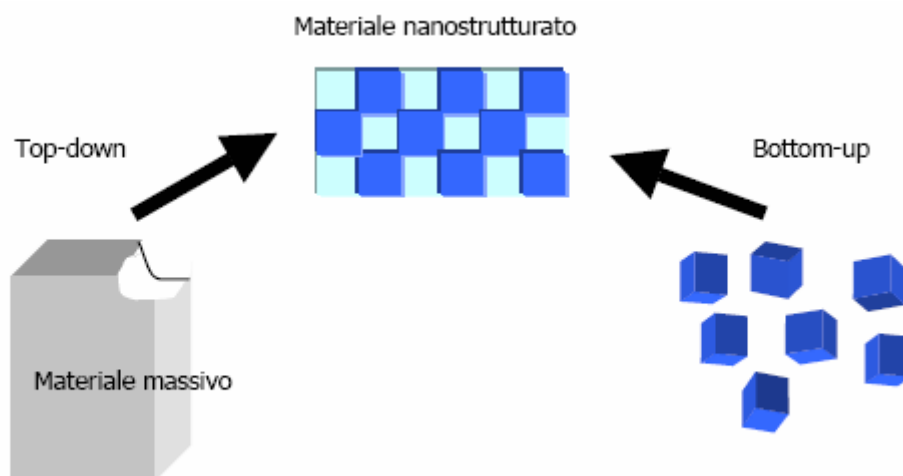
LE nanotecnologie e i nanomateriali

Il termine "nanotecnologia" indica la capacità di assemblare e manipolare strutture complesse con dimensioni che vanno da qualche nanometro al centinaio di nanometri (1 nanometro è pari a 10^{-9} metri; un atomo di oro ha un diametro di circa mezzo nanometro, un virus ha dimensioni dell'ordine di 100 nanometri). In particolare stanno acquistando un interesse crescente nel panorama scientifico ma anche economico mondiale i materiali nanostrutturati, formati cioè da unità di dimensioni nanometriche e quindi dotate di particolari proprietà chimico-fisiche, differenti dai corrispondenti materiali convenzionali.

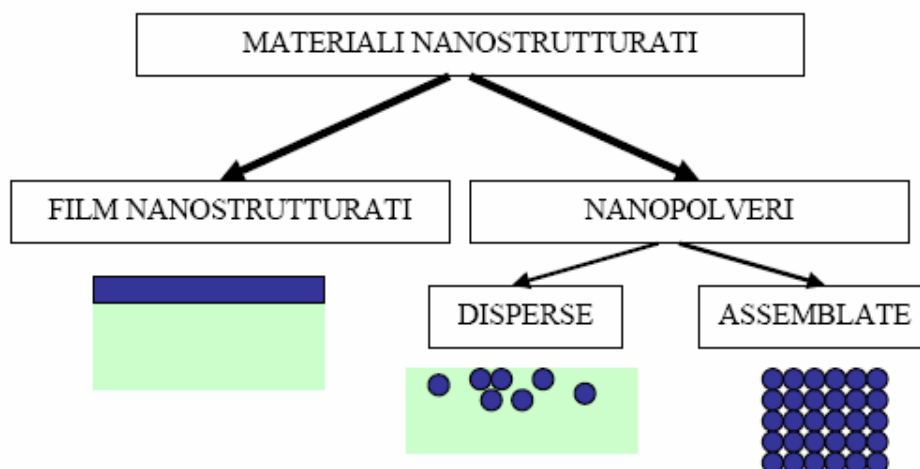


Come si producono

Per i processi di produzione di materiali nanostrutturati si possono distinguere due approcci, uno, detto “*top down*”, in cui le nanostrutture vengono “scolpite” su un blocco di materiale; l'altro, detto “*bottom up*”, in cui i materiali nanostrutturati vengono prodotti e assemblati a partire da “nanoblocchi”.



In particolare, queste tecniche consentono di ottenere: polveri finemente suddivise, che possono essere compattate, per ottenere manufatti di svariate caratteristiche e dimensioni, o disperse all'interno di un altro materiale, per modificarne opportunamente alcune caratteristiche; film sottili depositati su diversi substrati, che hanno già applicazioni di rilievo.



Le nanotecnologie *bottom-up* nascono dal progetto di molecole o aggregati molecolari (eventualmente sintetizzati *ad hoc*) aventi la capacità di autoassemblarsi o autorganizzarsi in strutture di ordine più elevato. Questo approccio può essere molto efficace impiegando le molecole che siano maggiormente adatte ad autoassemblarsi spontaneamente sotto l'azione di uno specifico agente chimico o fisico, come la variazione di pH, la concentrazione di uno specifico soluto, o l'applicazione di un campo elettrico. I meccanismi fisici che producono l'autoassemblamento, ovvero le forze pilotanti che spingono le molecole ad autoassemblarsi in strutture organizzate, sono dovuti alla termodinamica e alle interazioni competitive di tipo molecolare. L'obiettivo è quello di progettare sistemi capaci di autoassemblarsi in strutture macroscopiche di ordine più elevato, aventi le proprietà di tipo chimico e/o fisico desiderate, caratteristiche del comportamento collettivo e non di quello delle singole molecole o particelle costituenti. Attualmente, questa metodologia è chiamata, "autoassemblamento guidato" (*directed self-assembly*). Nell'approccio

bottom-up si parte dall'introduzione di tipologie di nanoblocchi elementari (i "mattoni" che costituiscono un sistema) che presentano proprietà fisiche innovative a seconda della dimensione, della morfologia e della composizione chimica.

Parte II – I vetri cromogenici e la mutevolezza delle superfici

TIPOLOGIE E CARATTERISTICHE DEI VETRI CROMOGENICI

- 1. Vetri fotocromici**
- 2. Vetri termocromici**
- 3. Vetri elettrocromici**
- 4. Vetri LCD**

Introduzione

Già nel 1978 Richard Rogers affermò che “l'edificio deve diventare come un camaleonte che si adatta”. A quasi trent'anni dalle parole dell'architetto londinese sono stati fatti notevoli progressi nel campo della produzione, lavorazione e applicazione del vetro in architettura. A oggi i vetri più innovativi sono quelli contenenti dispositivi cromogenici.

Il termine *cromogenics* è stato introdotto dagli studiosi Lambert e Granqvist al fine di designare la scienza che studia i materiali in grado di cambiare le proprie caratteristiche ottiche in risposta ad uno stimolo esterno.

Nel campo dell'edilizia l'utilizzo di queste tecnologie consente di realizzare involucri trasparenti a prestazioni variabili, *smart window*, che rispondono sia ad esigenze materiali di tipo qualitativo-ambientale sia al bisogno simbolico dell'architettura di rappresentare, attraverso segni concreti, l'eterogeneità dei cambiamenti contemporanei.

Un vetro che cambi colore e proprietà ottiche a comando o in funzione delle condizioni ambientali, rende possibili innumerevoli soluzioni tecnologiche avanzate. Una tale possibilità esiste grazie ad una tipologia di materiali, detti "cromogenici", la cui caratteristica di base è quella di essere soggetti ad ampie variazioni delle loro proprietà ottiche a seguito dell'applicazione di un campo elettrico, di un trasferimento di carica elettrica, dell'esposizione alla luce ambiente o al calore. Questa variazione si manifesta come passaggio da uno stato di alta trasparenza ad uno stato in cui il materiale riflette o assorbe parzialmente o totalmente la parte

visibile e/o quella solare dello spettro luminoso (il più comune esempio è rappresentato dai cosiddetti vetri fotocromici).

I materiali cromogenici possono essere suddivisi in due grandi categorie: attivati elettricamente o non attivati elettricamente.

I primi presentano il vantaggio di poter essere controllati a comando, mentre i secondi presentano il vantaggio di autoregolarsi. Questi materiali formano la base per dispositivi che possono essere usati in una grande varietà di applicazioni. Una di quelle più promettenti sono le cosiddette "vetrate intelligenti", che controllano adattivamente la quantità di radiazione solare o di luminosità che entra in edifici, veicoli, aerei, navi, ecc..., secondo uno schema di gestione razionale dell'energia e del comfort ambientale.

La produzione mondiale di vetro piano è di circa 1 bilione di metri quadri all'anno, una gran fetta della quale viene assorbita da applicazioni in edilizia e autoveicoli, offrendo, così, un enorme mercato potenziale ai dispositivi cromogenici.

I materiali cromogenici elettricamente attivati possono venire utilizzati anche (oltre che per occhiali da sole e vetrate intelligenti) in displays per orologi, computer portatili, insegne informative (aereoportuali, ferroviarie, pubblicitarie, ecc...) e specchietti retrovisori antiabbagliamento per automobile.

VETRI FOTOCROMICI

Categoria

cromogenici; dispositivi non elettricamente attivati

Descrizione

i materiali fotocromici possono essere organici e inorganici

Tipo di trasformazione

cambiano le proprietà ottiche al variare dell'intensità della luce

Aspetto esterno e colorazione

varia da chiaro-trasparente a colorato

Comportamento del materiale

da trasparente-trasmittente ad assorbente

Requisiti ottici

– stato trasparente:

trasmissione molto elevata nei domini del solare e del visibile (fino a 80–90% per la banda centrale del visibile)

– stato colorato:

trasmissione molto bassa

(fino a 10–15% per la banda centrale del visibile)

Requisiti elettrici

tempi di risposta: minuti (richiede più tempo il passaggio dallo stato opaco a quello trasparente)

Durabilità

per i vetri è stata dimostrata una buona durabilità e resistenza alla fatica nell'alternarsi dei cicli colorato/trasparente

Vantaggi

- sono autoregolanti
- buona durabilità nei cicli color./trasp.
- buona resistenza agli attacchi chimici

Difetti

- drastica riduzione della trasmissione luminosa nello stato oscurato
- riflessione della radiazione energetica anche nei mesi invernali
- cambiando stato diventano assorbenti (causando problemi di stress termico)
- sono prodotti in superfici ancora troppo piccole per l'uso in edilizia
- costo molto elevato

Prospettive della ricerca

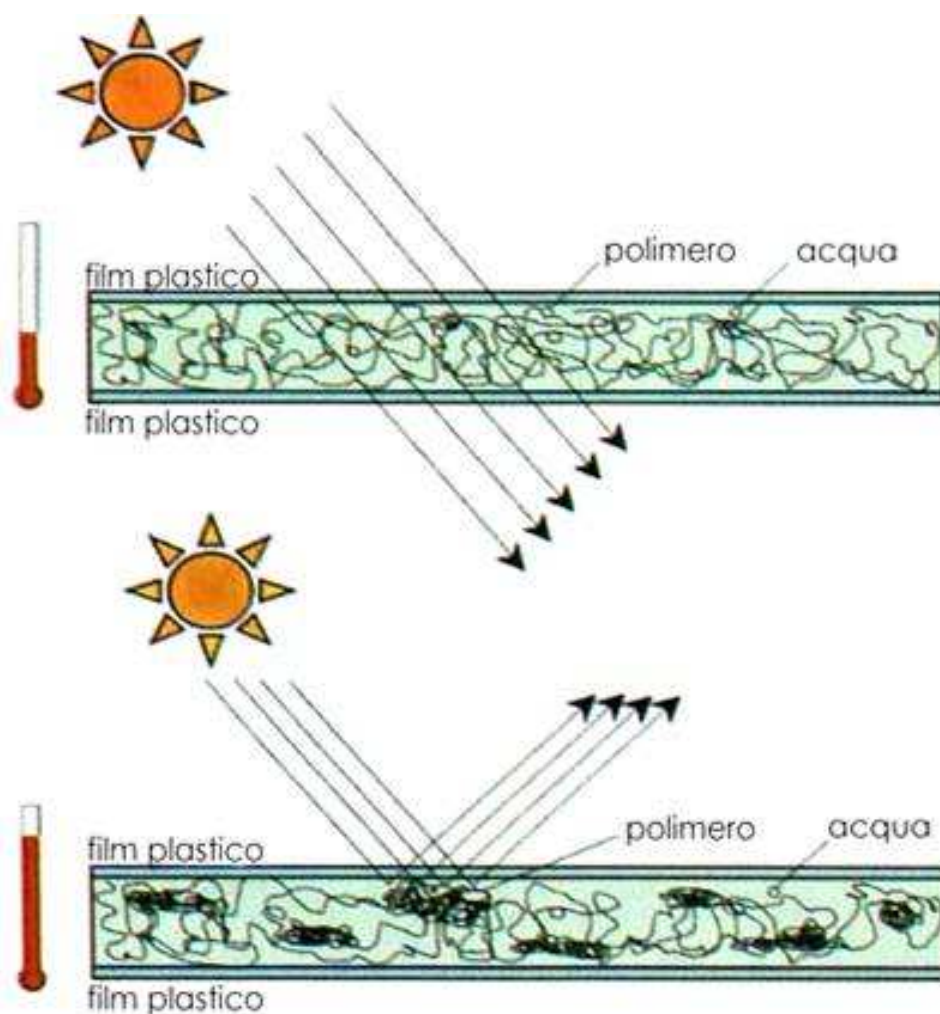
- migliorare la perdita di fotocromismo alle alte temperature
- creare dispositivi a grande area

Campi di applicazione

settore dell'ottica

settore dell'edilizia (vetri regolatori di energia per il controllo energetico-solare)

VETRI TERMOCROMICI



Categoria

cromogenici; dispositivi non elettricamente attivati

Descrizione

i materiali termocromici possono essere vetri con coating di ossidi metallici (VO₂) o gel polimerici (Cloud Gel, Tald)

Tipo di trasformazione

variano le proprietà al variare della temperatura; ritornano alle proprietà originarie se raffreddati fino alla temperatura di partenza

Aspetto esterno e colorazione

da trasparente a lievemente colorato

Comportamento del materiale

traslucido fino alla temperatura critica e opaco per temperature superiori

Requisiti ottici

– fattore di trasmissione energetica:

stato trasparente: 90%

stato opaco: 20–30%

requisiti elettrici

tempi di risposta: estremamente rapidi

Durabilità

tendenza all'ingiallimento del materiale polimerico esposto all'azione della radiazione UV; risolvibile tramite l'uso di stabilizzatori chimici l'obiettivo è il raggiungimento di una durata di vita di 5 anni; nel futuro si lavorerà per una durata superiore (fino a 20–30 anni)

Vantaggi

– sono autoregolanti

– riducono l'entità dei carichi di raffreddamento e ventilazione (risparmio energetico)

– possono sostituire le tradizionali schermature

– dimostrano alta trasmissione luminosa nello stato trasparente

– semplicità di messa in opera e inserimento in architettura

– eliminano i problemi di surriscaldamento regolando gli apporti solari

- diffondono la luce sia nello stato opaco che in quello chiaro
- la luce trasmessa è costante ed uniforme
- caratteristiche ottiche simili al vetro opaco
- eliminazione dei fenomeni di abbagliamento
- costi ridotti rispetto alle altre categorie

Difetti

- bloccano i raggi solari benefici in inverno
- possono essere regolati dall'utenza solo utilizzando circuiti elettrici stampati sugli strati che racchiudono il film termocromico
- tendenza all'ingiallimento dei gel polimerici
- non sono mai completamente trasparenti

Prospettive della ricerca

- controllo e modifica della temperatura di transizione
- controllo della trasmissione luminosa nello stato colorato
- miglioramento della durabilità
- studio dell'inserimento nei componenti architettonici

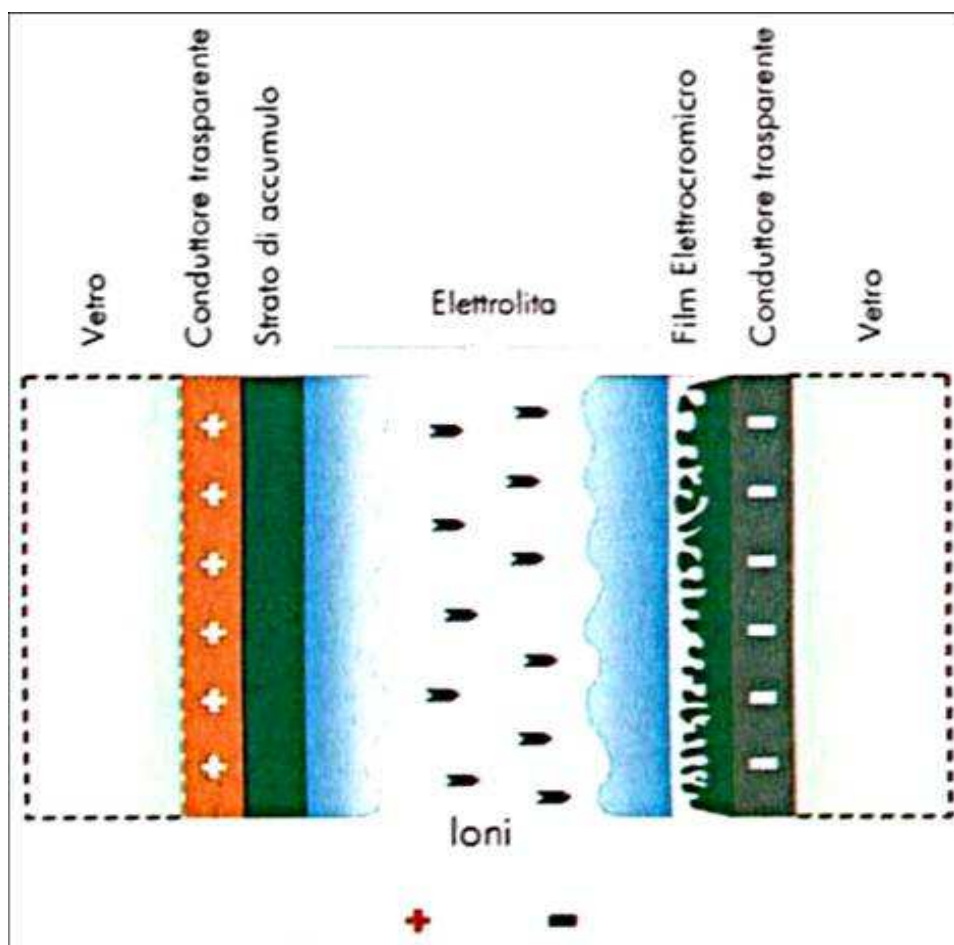
Campi di applicazione

- settore dell'agricoltura: serre
- settore dell'edilizia: vani scala, coperture, atri e strutture a corte, lucernari, pannelli di facciata

Esempi di applicazioni in edilizia

- Bioshelter Headquarters – S. Francisco
- Educational community Center – NY City
- Anugraha Congress Center – London

VETRI ELETTROCROMICI



Categoria

cromogenici; dispositivi elettricamente attivati

Descrizione

il materiale è composto da 5 strati: due conduttori trasparenti, un'elettrolita o conduttore di ioni, un controelettrodo o strato di accumulo, uno strato elettrocromico (ossido di tungsteno o nichel)

Tipo di trasformazione

cambiamento delle proprietà ottiche in modo persistente e reversibile
sotto l'azione di un campo elettrico

Aspetto esterno e colorazione

stato attivato: trasparente stato disattivato: colorato (blu, grigio, porpora etc.)

Comportamento del materiale

stato attivato: trasparente e speculare stato disattivato: assorbente o riflettente e speculare

Requisiti ottici

possibilità di modulazione delle proprietà

ottiche variando l'intensità del voltaggio

elettrico applicato

fattore di trasmissione solare (%)

50–70 (stato trasparente)

10–20 (stato attivato)

fattore di trasmissione luminosa (%)

50–70 (stato trasparente)

10–20 (stato attivato)

contrasto in trasmissione solare

da 1/2 a 1/6

Requisiti elettrici

tensione di alimentazione: 1–SV tempi di risposta: 1–60 sec memoria: fino a 12–48 ore

Durabilità

numero di cicli: 4000–6000 (5 cicli al giorno) anni (li vita: massimo 2–4 anni

Vantaggi

- ampia possibilità di modulazione della trasmissione luminosa (ottimizzazione progetto luce)
 - ampia possibilità di modulazione della trasmissione solare ed energetica (architettura energeticamente efficiente)
 - sono comandabili dall'utenza (manualmente o automaticamente tramite computer)
 - richiedono energia elettrica solo al momento dell'attivazione
 - possiedono lunga memoria
 - necessitano di un piccolo voltaggio per cambiare di stato
- sono sempre speculari (sia nello stato attivato che disattivato)

Difetti

- non ancora disponibili in ampie superfici
- insufficiente curabilità

Prospettive della ricerca

- portare l'estensione superficiale ad almeno 0.5 m²
- portare la durabilità ad almeno 10 anni ottimizzare le prestazioni ottiche ed energetiche dei materiali migliorare il funzionamento elettrico perfezionare i sistemi che variano le proprietà dallo stato trasparente a riflettente

Campi di applicazione

- settore dell'auto: specchi retrovisori, tettucci;
- nel futuro: finestrini laterali e posteriori
- settore dell'edilizia. finestre a controllo dinamico
 - settore industriale aerospaziale

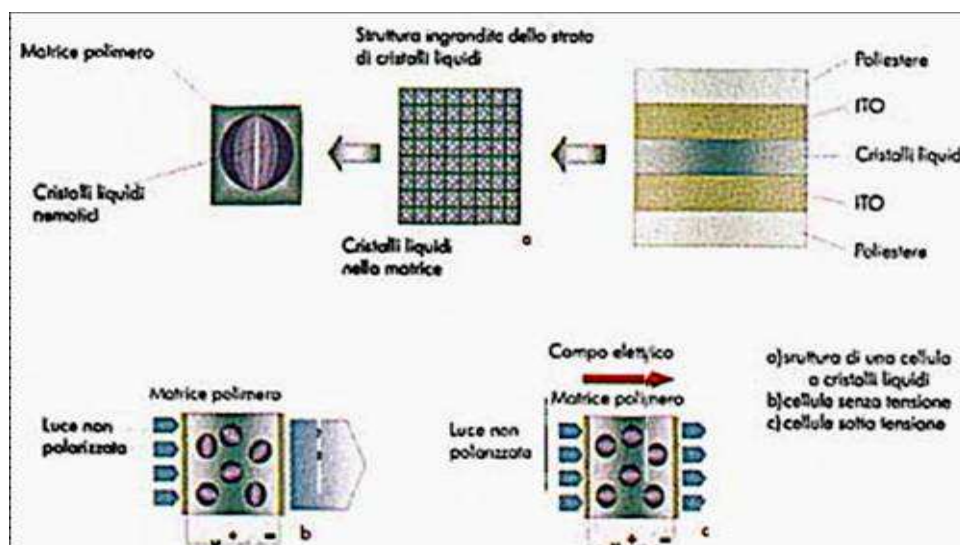
Esempi di applicazioni in edilizia

prototipi:

Seto Bridge Museum (Kojima, Okayama–Pref,
Japan)

Dalwa House (Mita–City, Hyogo–Pref, Japan)

DISPOSITIVI A CRISTALLI LIQUIDI



Categoria

cromogenici; dispositivi elettricamente attivati

Descrizione

due strati di vetro o poliestere racchiudono il polimero che contiene le molecole di cristalli liquidi incapsulate

Tipo di trasformazione

un campo elettrico attivato tra due elettrodi trasparenti cambia l'orientamento delle molecole di cristalli liquidi incapsulate nel materiale polimerico

Aspetto esterno e colorazione

stato attivato: trasparente

stato disattivato: bianco, opaco

Comportamento del materiale

stato attivato: lievemente diffondente stato disattivato: diffondente

Requisiti ottici

la trasmissione luminosa può essere quasi costante nei due stati diffuso e attivato

– fattore di trasmissione luminosa:

stato attivato: 60–80%

stato disattivato: 40–60%

– fattore di trasmissione solare:

stato attivato: 79–80%

stato disattivato: 44–60%

Requisiti elettrici

tensione di alimentazione: 30–100V tempi di risposta: estremamente rapidi non hanno capacità di memoria

Vantaggi

- comandabili manualmente dall'utenza
- sono l'unico dispositivo elettricamente attivabile di grandi dimensioni attualmente disponibile sul mercato
- può passare dallo stato trasparente a quello diffuso senza variare sostanzialmente la quantità di luce trasmessa
- garantiscono la privacy
- possono costituire una valida alternativa alle tradizionali schermature per la protezione dei materiali isolanti trasparenti

Difetti

- necessitano di un apporto di corrente continuo per restare trasparenti
- la diffusione è sempre presente, anche nello stato attivato
- necessitano di un più alto voltaggio per attivarsi

Prospettive della ricerca

- migliorare la stabilità CV
- diminuire i costi (specialmente del conduttore trasparente)
- aumentare la capacità di modulazione nel campo solare-energetico per le applicazioni con materiali isolanti trasparenti
- approfondire lo studio del passaggio dallo stato trasmittente a quello (diffusamente) riflettente

Campi di applicazione

settore dell'edilizia:

- interni (come elemento separatore, diaframma che garantisce la privacy)
- facciata (assemblato in struttura isolante trasparente)

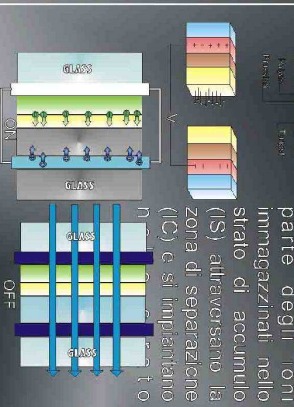
settore dell'auto: finestrini laterali

Esempi di applicazioni in edilizia

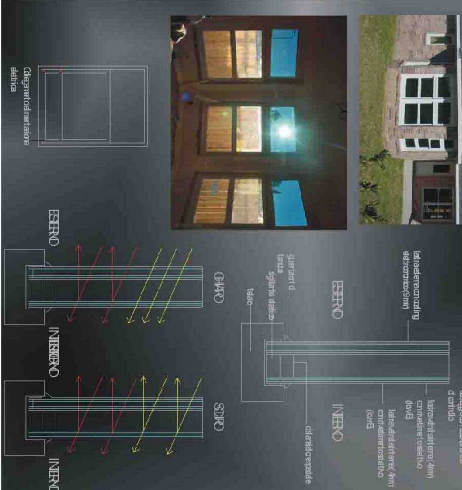
edifici adibiti ad uffici, aree bancomat

I VETRI ELETTROCROMICI

potenziale elettrico
viene applicato agli
strati di conduttore
trasparente (TC)



Il processo è continuo e reversibile, quindi con l'applicazione di un potenziale inverting è possibile ritornare alla situazione originale. Una delle caratteristiche più interessanti è lo scarso consumo energetico durante la transizione e la possibilità di memorizzare (fino a 24 ore) lo stato attuale. Una volta



PRESTAZIONI OFFERTE DAL MATERIALE	
AFFIDABILITA'	In condizioni di uso normali il materiale mantiene i livelli prestazionali previsti.
ASSENZA	Il materiale non emette sostanze tossiche.
COMODITA' D'USO E DI MANOVRA	Il materiale si attiva per volontarietà dell'utente per mezzo di un semplice interruttore.
ISOLAMENTO TERMICO	Le caratteristiche di isolamento termico, già rilevanti ($U=1,6 \text{ W/m}^2\text{C}$), vengono migliorate con l'impiego di film basso emissivi, o tramite il riempimento dell'intercapedine con gas nobili, tipo
RESISTENZA AL FUOCO	Il materiale conserva ottime prestazioni in presenza del fuoco. Non ci sono emissioni di sostanze tossiche per effetto dell'azione degli incendi.
RESISTENZA AGLI AGENTI AGGRESSIVI	Il rivestimento, una volta depositato sulla lastra non subisce nessuna aggressione da parte di agenti chimici.
RESISTENZA AL GELO	Il rivestimento non subisce disgregazioni e/o mutamenti di dimensione ed aspetto a causa della formazione del ghiaccio
STABILITÀ CHIMICO - REATTIVA	Il rivestimento conserva nel tempo le proprietà fotocatalitiche.

Essi consistono in celle elettrochimiche i cui elettrodi chimicamente attivi (materiali elettrocromici) sono depositati sotto forma di film sottili su vetro o plastica.

Il processo elettrocromico consiste qui nel cambiamento di stato di questi materiali, a seguito di un piccolo trasferimento di carica elettrica sotto l'applicazione di un campo elettrico a tensione relativamente bassa (1–5 V). Uno dei maggiori vantaggi dei dispositivi elettrocromici è quello di essere particolarmente adatti ad applicazioni che richiedono grandi superfici (come in edilizia e mercato automobilistico).

Applicazioni su piccola scala sono possibili e già introdotte sul mercato (specchi retrovisori per auto e occhiali da sole).

Quando si passa ai sistemi a display, si perde il vantaggio legato alla applicabilità dei dispositivi elettrocromici su grandi dimensioni.

In tal caso, rappresentano la maggiore attrattiva le proprietà elettrocromiche come: l'alto contrasto, l'angolo di visuale non ristretto, il fatto che, interrompendo l'alimentazione elettrica, questi materiali mantengono il loro stato per lunghi tempi (effetto memoria a circuito aperto).

Questi vantaggi, però, devono essere messi a confronto con: la relativa lentezza nella risposta alle sollecitazioni; in alcuni casi, la possibilità di effetti degradativi dovuti alle decine di milioni di operazioni on/off che un display deve subire durante la sua vita; la necessità di portare la connessione elettrica ad ogni pixel (elemento attivo unitario) del display per la estrema difficoltà di ottenere sistemi elettrocromici ai quali possa essere applicata la comune tecnica del "multiplexing". Negli anni '70 e '80

IBM, AT&T Bell Laboratories (negli USA) e Philips e Brown-Boveri (in Europa) hanno estesamente studiato la possibilità di applicazione di materiali e dispositivi elettrocromici ai displays.

Questa strada, però, venne abbandonata perchè i prototipi degradavano rapidamente nel tempo, non si vedevano all'epoca opportunità di mercato per utilizzi su grandi dimensioni e, inoltre, la tecnologia concorrente dei cristalli liquidi (LCD) proprio in quegli anni divenne rapidamente diffusa e affidabile.

Oggi, comunque, la tecnologia elettrocromica comincia a manifestare eccellente durabilità in molti casi e, per alcuni tipi di applicazioni dove non sia richiesta una elevata velocità di risposta, le sue prestazioni possono superare quelle degli LCD convenzionali (maggior contrasto e nessuna limitazione sull'angolo di visuale). Possono essere così ipotizzate unità numeriche a 7 segmenti o unità alfanumeriche a 7x5 pixels con cui comporre displays con dimensioni variabili per applicazioni in orologi o insegne.

I dispositivi elettrocromici: cosa sono e come funzionano

Il fenomeno dell'elettrocromismo si manifesta in parecchi composti inorganici e organici (compresi alcuni polimeri). Ci sono due categorie principali di materiali elettrocromici: ossidi dei metalli di transizione e composti organici. Alcuni dei più comuni vengono elencati in Tabella I.

MATERIALI ELETTROCROMICI INORGANICI		MATERIALI ELETTROCROMICI ORGANICI	
a) Catodici (colorazione per riduzione; reazione tipo: $WO_3 + xH^+ + xe^- \leftrightarrow H_xWO_3$)		Tipo	Colore acquisito
Materiale	Colore acquisito	Viologeni	Trasparente \leftrightarrow Blu, viola, rosso
Ossido di tungsteno (WO_3)	Trasparente \leftrightarrow Blu	Polimeri: polianilina	Trasparente \leftrightarrow Verde, blu, porpora
Ossido di molibdeno (MoO_3)	Giallo \leftrightarrow Grigio - Porpora	Polimeri: polipirrolo	Giallo \leftrightarrow Marrone
Ossido di titanio (TiO_2)	Trasparente \leftrightarrow Blu	Polimeri: politiofene	Rosso \leftrightarrow Blu
Ossido di niobio (Nb_2O_5)	Trasparente \leftrightarrow Bronzo	Polimeri: poliisotianofene	Nero \leftrightarrow Trasparente
Ossido di vanadio (V_2O_5)	Giallo \leftrightarrow Blu, verde nero	Antraqinoni	Rosso \leftrightarrow Blu, verde
b) Anodici (colorazione per ossidazione; reazione tipo: $Ni(OH)_2 \leftrightarrow NiOOH + H^+ + e^-$)		Difalocianine	Verde \leftrightarrow Rosso, viola, blu, giallo
Ossido di nickel (NiO)	Trasparente \leftrightarrow Bronzo	Tetrafulvatene	Giallo \leftrightarrow Verde, porpora
Ossido di iridio (IrO_3)	Trasparente \leftrightarrow Nero	Pirazolina	Giallo \leftrightarrow Giallo, blu verde
Ossido di rodio (Rh_2O_3)	Giallo \leftrightarrow Verde, marrone, porpora		
Ossido di cobalto (CoO_x)	Rosso \leftrightarrow Porpora, grigio, nero		

Tabella I – Alcuni più comuni materiali elettrocromici

L'effetto elettrocromico avviene nei composti inorganici per effetto della contemporanea iniezione o estrazione di ioni (M^+) e elettroni (e^-).

Il cambiamento della densità di elettroni nello stato elettrocromico (necessario a mantenere la neutralità elettrica è provocato dall'inserzione/estrazione di ioni) È il fattore che modula il comportamento ottico.

Nei composti elettrocromici organici la colorazione o il cambio di colorazione si raggiunge per effetto di una reazione di ossido-riduzione che può essere anche accoppiata ad un'altra reazione chimica.

I materiali elettrocromici sono presenti generalmente allo stato liquido (più o meno viscoso) o solido. Un materiale elettrocromico in fase gassosa non è stato ancora scoperto.

Un dispositivo elettrocromico consiste di un multistrato depositato su un supporto di vetro o di plastica.

Tale multistrato deve essere progettato e realizzato in modo tale da immagazzinare ioni e farli viaggiare avanti e indietro, inserendoli o estraendoli dallo strato di materiale elettrocromico, per mezzo della applicazione di una tensione elettrica. Lo schema più complicato prevede, per questo multistrato, una struttura a cinque strati. Il primo È un conduttore di elettroni, trasparente, depositato su vetro o plastica, la cui funzione è quella di assicurare un campo elettrico distribuito uniformemente su tutta la superficie del dispositivo. Il secondo è lo strato di materiale elettrocromico (in grado di condurre ioni ed elettroni insieme). Il terzo è un conduttore di ioni o un materiale elettrolitico, la cui funzione è di fornire (o ricevere) ioni da inserire nel (o da estrarre dal) materiale elettrocromico. Questo strato conduce ioni ma non elettroni. Il quarto strato è il materiale di contro elettrodo, in grado di condurre elettroni e ioni insieme e con la funzione di cedere o di immagazzinare per il conduttore ionico/elettrolita gli ioni necessari al funzionamento del dispositivo. Esso può anche essere costituito a sua volta da un materiale elettrocromico. In tal caso, deve comportarsi in modo complementare a quello del secondo strato (colorazione da reazione anodica se quello È catodico o viceversa). In questo modo, essi si colorano insieme e si scolorano insieme, assicurando una efficacia di modulazione maggiore rispetto al singolo strato elettrocromico. Il quinto strato è il secondo conduttore elettronico, simile al primo e ad esso collegato tramite il generatore di tensione. Negli specchi elettrocromici e in molte applicazioni per displays, non È necessario che

quest'ultimo strato sia trasparente, poichè il dispositivo non deve esserlo. In alcuni casi, il quarto strato, oltre ad essere un "serbatoio" di ioni, È anche un conduttore di ioni talmente efficace da poter sostituire esso stesso il terzo strato. A volte, addirittura, esso mostra anche caratteristiche elettrocromiche tali da poter contemporaneamente sostituire tutti e tre gli strati (elettrocromico, conduttore ionico e serbatoio di ioni). » questo il caso di dispositivi basati su materiali organici semiliquidi, nei quali sono mescolate due specie chimiche che, con una reazione di ossidoriduzione sulla superficie dei conduttori elettronici, assicurano la modulazione ottica. In figura 1 È riassunto lo schema di base del dispositivo e le varie soluzioni ora descritte.

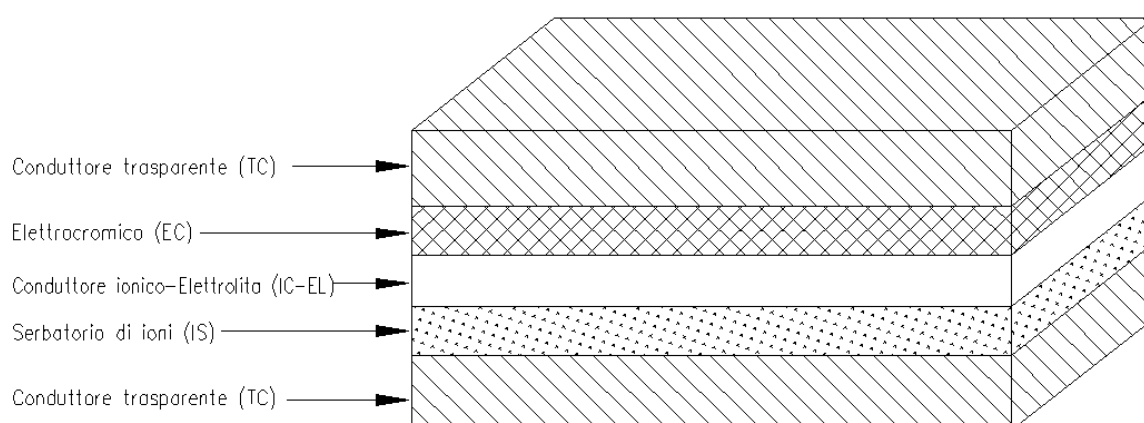


Figura 1.

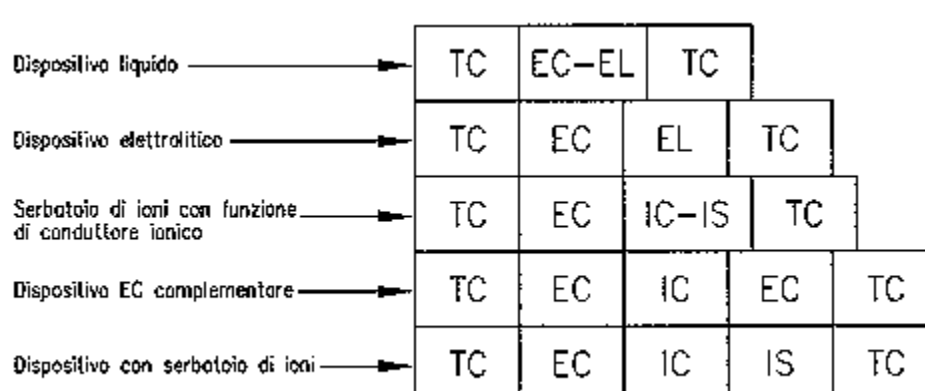


Figura 1. (secondo disegno)

Il multistrato deve possedere una serie di caratteristiche per essere base di dispositivi utili e di lunga durata. La conduttività elettronica e ionica dello strato elettrocromico devono assicurare una modulazione ottica veloce. Il trasporto ionico è spesso il fattore limitante, così che il film elettrocromico deve possedere una struttura che permetta facilmente l'inserzione e l'estrazione degli ioni. Lo strato serbatoio di ioni deve possedere caratteristiche di conduttività ionica/elettronica simili a quelle dello strato elettrocromico primario. Per assicurare uniformità di colorazione, il conduttore ionico dovrebbe avere una bassa conduttività elettrica e i conduttori trasparenti una bassissima resistività elettrica. Questo fatto limita spesso la velocità di modulazione (dinamica) del dispositivo in applicazioni su superfici superiori al metro quadro. A meno che non ci siano reazioni di ricombinazione o fenomeni parassiti, il fatto che il conduttore ionico non conduca elettroni garantisce che il dispositivo, una volta colorato, rimanga in tale stato fino a quando non ne venga richiesta la scolorazione esplicitamente tramite l'applicazione della controtensione. In altre parole, la cella può avere una memoria a lungo termine ed utilizzare energia solo per alterare il proprio stato di colorazione.

Stato dell'arte, prospettive e problemi

Un cambiamento di colore È associato al comportamento di un gran numero di celle elettrochimiche. Perciò trovare sistemi potenzialmente elettrocromici non è un problema.

La vera sfida è produrre sistemi con caratteristiche adeguate alle applicazioni commerciali. I requisiti richiesti a una cella elettrocromica per finestra comprendono: stabilità in temperatura (campo operativo da -20 a $+80^{\circ}\text{C}$ e campo di sopravvivenza da -40 a $+120^{\circ}\text{C}$); longevità (circa 25 anni negli edifici e circa 5 anni per un'automobile); tempo per un ciclo on/off minore di tre minuti; numero totale di cicli all'anno attorno a 5000; disponibilità di colore e di modulazione ottica. Tutto ciò deve essere conseguito in finestre fino a $2\text{m} \times 2\text{m}$ di dimensioni e su vetri anche curvi (per applicazioni automobilistiche). Nikon (Giappone) ha sviluppato occhiali da sole elettrocromici, il cui costo di mercato supera le 400.000 lire al paio. Finestre per applicazioni in edilizia e automobili vengono attualmente sviluppate in tutto il mondo. Prototipi commerciali in questo settore sono già disponibili. Per esempio, Asahi-Glass (Giappone) ha già dotato da qualche anno la facciata di un museo di una matrice di piccole finestre elettrocromiche. In Europa, Saint Gobain e Pilkington (quest'ultima in collaborazione con Flachglass AG) ne hanno già dimostrata la fattibilità con prototipi fino ad 1 m^2 di area e sono ben piazzate nella corsa alla produzione di un prodotto commerciabile. Alle varie esposizioni automobilistiche sono già stati mostrati vari prodotti. Tra questi, il prototipo di retrovisore prodotto da OCLI/Donnelly (USA) e, veramente rimarchevole, lo specchio retrovisore elettrocromico prodotto dalla GENTEX di Zeeland (USA). Nel 1995 GENTEX ne ha venduti più di due milioni e questa cifra è destinata a crescere, questi specchi essendo diventati accessoristica di base su Rolls-Royce e altre auto di prestigio. La maggior parte dei problemi costruttivi di finestre elettrocromiche di colore verde

e/o blu su vetro piano o curvo sono già risolti e si È quasi pronti per portare la produzione su scala commerciale.

Diversamente dalle finestre, per i displays sono richiesti tempi inferiori ai tre secondi per un ciclo on/off e un numero di cicli/anno ben superiore ai 500.000. A ciò va anche aggiunta l'ulteriore difficoltà dell'uso di un array di celle molto piccole in luogo di un'unica, grande cella. Attualmente, la richiesta per display elettrocromici non È molto alta.

Esistono però possibilità di un aumento dell'interesse, legate da un lato ad applicazioni per insegne e dall'altro ad applicazioni per supermercati (indicatori di prezzo e di caratteristiche merceologiche controllati da computer). Per le prime, si cerca la sostituzione dei tradizionali sistemi elettromeccanici (pesanti, costosi e poco flessibili); per le seconde, un tentativo con i display a cristalli liquidi È già risultato infruttuoso, per via delle loro caratteristiche poco adattabili agli ambienti in cui vanno utilizzati (scarso contrasto e limitazioni di angolo visuale).

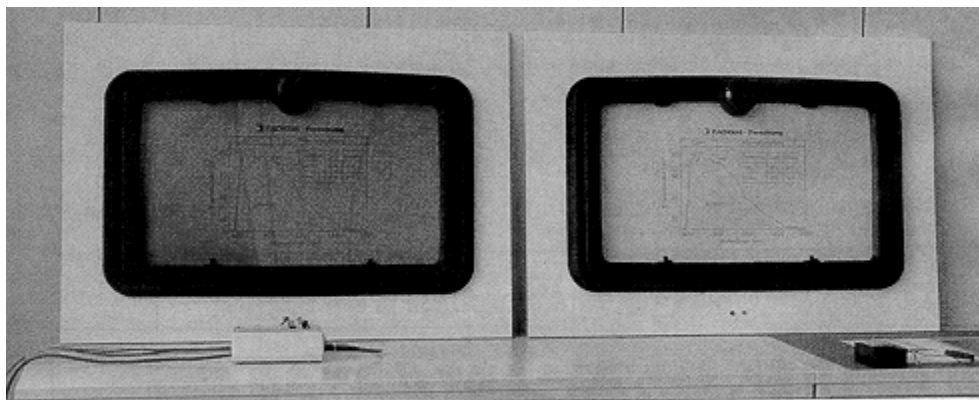
In quest'ultimo caso, i display elettrocromici sarebbero superiori, a patto di risolvere il problema del multiplexing (possibilità di controllare una riga alla volta la matrice di elementi attivi – o "pixels" – che costituisce il display).

In un display elettrocromico ogni pixel È una singola cella. Attualmente la gran parte dei display elettrocromici necessita il controllo di una cella alla volta e quei pochi casi che permettono il controllo con multiplexing hanno ancora parecchi problemi tecnici da risolvere.

Sony, Sharp, IBM e altri sono impegnati nello studio di applicazioni per display da computer multicromatici.

Anche l'Istituto Giordano È impegnato attivamente da qualche anno in un progetto di ricerca su dispositivi elettrocromici per varie applicazioni.

In particolare, l'obiettivo È di sviluppare prodotti per edilizia e display.



Prototipo di tettuccio elettrocromico sviluppato dall'azienda inglese Pilkington e dalla tedesca Flachglas AG.

In conclusione, tramite i maggiori produttori di vetro c'è una inesorabile tendenza a immettere sul mercato una grande quantità di vetrate elettrocromiche per uso in edilizia e automobili, a dispetto del problema che ancora permane, cioè della mancanza della robustezza necessaria a consentire un lungo servizio per questi dispositivi. I candidati più interessanti alla vittoria nel raggiungere questo scopo sono i dispositivi basati su materiali inorganici, anche se pure con questi la durabilità si può raggiungere a prezzo di notevoli difficoltà: un sistema può essere buono in termini di stabilità su una ben determinata finestra di condizioni elettrochimiche specifiche, ma non essere in grado di sopportare trattamenti che lo portino al di fuori di questa (per esempio, tensioni elettriche eccessive, applicate per lunghi tempi). Nonostante ciò, nel giro di

qualche anno i prodotti elettrocromici dovrebbero cominciare ad entrare pesantemente sul mercato.

Le applicazioni automobilistiche dovrebbero essere le prime, seguite da quelle per l'edilizia. Il tutto, a detta degli osservatori, nel giro di tre-cinque anni. L'incrementato utilizzo di display in insegne di pubblica utilità dovrebbe spingere la produzione di sistemi in grado di competere con i sistemi elettromeccanici di oggi nel giro di due o tre anni. Per realizzare queste opportunità È ancora necessario uno sforzo di ricerca e sviluppo, concentrato alla definizione di problemi di base e di contorno, legati alla struttura e alle proprietà dei materiali coinvolti, al fine di ottimizzarne caratteristiche ottiche e durabilità.

LO STATO DELLA RICERCA

- 3. La ricerca istituzionale**
- 4. La ricerca delle aziende produttrici**

Progetti di ricerca in atto:

PROGETTO CGR (Center for Glass Research)

Progetto finalizzato ad ottimizzare la superficie del vetro mediante un processo di tempera chimica per migliorarne le caratteristiche meccaniche, in collaborazione con Penn State (Pennsylvania State University).

PROGETTO CNR (Centro Italiano Ricerche)

Progetto finalizzato ai materiali speciali per tecnologie avanzate: Materiali Elettrocromici per applicazioni in ottica e fotonica.

PROGETTO ENEA

Progetto finalizzato alla deposizione mediante RF Sputtering e caratterizzazione ottica di film sottili, utili allo sviluppo di dispositivi elettrocromici.

THE ALTSET PROJECT (Angular Light and Total Solar Energy Transmittance)

Progetto finalizzato alle misure delle proprietà ottiche ed energetiche (TL, TE, FS) ad angolo di incidenza variabile per sistemi vetrati compositi.

PROGETTO R&D ISOCLIMA – GRUPPO FININD

Progetto finalizzato ai nuovi processi per i rivestimenti multistrato polifunzionali da applicare in vetrate per mezzi di trasporto ed edilizia.

PROGETTO MURST (Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica).

PROGETTO FINANZIATO Legge 104/95

Realizzazione di un film plastico elettrocromico laminabile tra due materiali trasparenti.

Centri di ricerca europei

Research in Chromogenic Devices– Excluding Electrochromics:

Glaverbel (Brussels, Belgium)–DPS

Saint Gobain Rech.(Paris, France) –PDLC, DPS

Pilkington (Lathom, UK)–PDLC

Isoclima (Este, Italy) –PDLC

Asulab–(Neuchatel, Switzerland)–LC

Schott Glass (Mainz, Germany)–Photochromic Glass

Interpane/BASF (Lauenforde, Germany)–Thermotropic polymers

Fraunhofer Inst. Building Physics (Freiburg, Germany)– Thermotropic polymers

Research in Electrochromic Devices

Univ. of Uppsala (Uppsala, Sweden)

Flachglas AG (Gelsenkirchen, Germany)

St. Gobain Recherche (Aubervilliers, France)

P. and M. Curie Univ. (Paris, France)

Imperial College (London, England)

Latvian State Univ. (Latvia)

University of Rome (Rome, Italy)

Oxford Brookes Univ. (Oxford, UK)

Elf Aquitaine (Lacq, France)

Coming Europe (Avon, France)

CRF Fiat (Orbassano, Italy)

Coat AB (Gothenburg, Sweden)

Conphoebus (Catania, Italy)

Isoclima (Este, Italy)

C. S.T.B. (Grenoble, France)

Nikon–Cars/Eyeglasses (Tokyo)

Nagoya Univ. (Nagoya)

Murakami Kaimeido–Cars

Glassform (Victoria)

Monash Univ. (Melbourne)

UN APPROFONDIMENTO TEMATICO: L'IMPIEGO DEI VETRI LCD NEL PROGETTO ARCHITETTONICO

1. Superfici con vetri LCD e nuovi requisiti del progetto

- Il valore aggiunto nell'impiego dei vetri LCD
- Le gamme di produzione dei vetri LCD
- Le applicazioni del priva-lite

2. Schedatura di soluzioni progettuali

- Tecnologie LCD nell'involucro
- Tecnologie LCD nelle partizioni

PRESTAZIONI OFFERTE DAL MATERIALE

IMP|EGH|

L'opacizzazione diretta, causata dal passaggio di corrente elettrica, combinata con le altre funzioni tecniche del vetro, permette l'utilizzo della lasta come



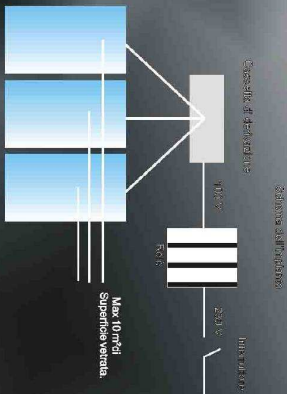
A grid of film strips, likely from a movie, showing various scenes. The strips are arranged in a 4x8 grid. The first column shows close-up shots of faces, with the top three strips showing a person's face in profile. The remaining columns show various scenes, including abstract patterns, landscapes, and possibly other faces. The film strips are dark, and the scenes are illuminated, creating a high-contrast effect.

- Basso consumo



Sistema di attivazione

Il dispositivo viene attivato mediante un interruttore, posto nel circuito di alimentazione primaria. L'inserimento dell'interruttore tra i trasformatori ed il vetrì induce delle degradazioni al vetro stesso. Si possono utilizzare interruttori di tipo classico, sistemi a infrarossi, cellule fotoelettriche



PRESTAZIONI OFFERTE DAL MATERIALE	
AFFIDABILITA'	In condizioni di uso normali il materiale mantiene i livelli prestazionali previsti.
ATTITUDINE ALL'INTEGRAZIONE	Le lastre sono integrate con la rete di alimentazione primaria, cui sono collegate mediante dei trasformatori per modulare il passaggio di corrente
COMODITA' D'USO E DI MANOVRA	Il materiale si attiva per volontà dell'utente per mezzo di un semplice interruttore bipolare
CONTROLLO DEL FLUSSO LUMINOSO	Il fattore di trasmissione luminosa per vetro LCD per applicazioni esterne è pari al 67,3% nello stato attivato (ON) e al 74,8% nello stato disattivato (OFF).
ISOLAMENTO ACUSTICO	Una lastra LCD di spessore 11 mm fornisce un valore di isolamento acustico pari a 36 dB (norma ISO 717).
RESISTENZA AGLI AGENTI AGGRESSIVI	Le lastre non subiscono nessuna aggressione da parte di agenti chimici.
LIMITI PRESTAZIONALI	
Le lastre LCD possono essere impiegate esclusivamente in pareti verticali, non sono indicate per superfici oblique e orizzontali. Contrariamente ai dispositivi elettrocromici non hanno capacità di memoria, se non viene fornito un potenziale elettrico i dispositivi a cristalli liquidi si disattivano tornando rapidamente ad assumere un colore bianco opaco. Da un punto di vista applicativo si verificano dei problemi, a causa dell'aumento di temperatura del vetro stesso.	

Una significativa possibilità dell'attuale sviluppo tecnologico risiede dunque nella cosiddetta "scienza del piccolo", la ricerca di base e applicata che si sviluppa alla piccola scala e che riguarda elementi di dimensione minima, sia nel campo dei materiali lavorati che dei semilavorati, oppure che interessa le dimensioni infinitesime della materia secondo livelli di integrazione molecolare fra più materiali. L'effettiva portata innovativa di *microinnovazioni* nel campo dell'architettura non è sempre immediatamente percepibile e tantomeno valutabile in termini convenzionali. Si può affermare che la provenienza è in larga parte dovuta a processi di trasferimento tecnologico da vari settori industriali, privilegiando l'interconnessione e la trasversalità dei saperi tecnici, oltre che alla ricerca applicata nell'interazione progettista/industria per quanto riguarda nuovi materiali e sistemi.¹⁶ Questo tipo di innovazione – nascosta oltre che silenziosa – si attua attraverso soluzioni integrate, ricorrendo anche a concezioni evolute del progetto secondo principi di funzionamento non convenzionali.

I recenti sviluppi della ricerca stanno dunque sgombrando il campo da una possibile erronea convinzione secondo cui soluzioni innovative poco evidenti siano di minore validità rispetto a quelle morfologicamente caratterizzate. L'essere poco appariscente o nascosta sotto parti in vista e consuete dell'edificio, può costituire, in molti casi, un significativo valore aggiunto dell'innovazione, in linea con la tendenza alla leggerezza e alla progressiva dematerializzazione degli interventi e secondo una prospettiva in cui essa risulta maggiormente diffusa garantendo, quindi, un buon

¹⁶ Ingrid Paoletti, *Una finestra sul trasferimento. Tecnologie innovative per l'architettura*, Clup, Milano, 2003

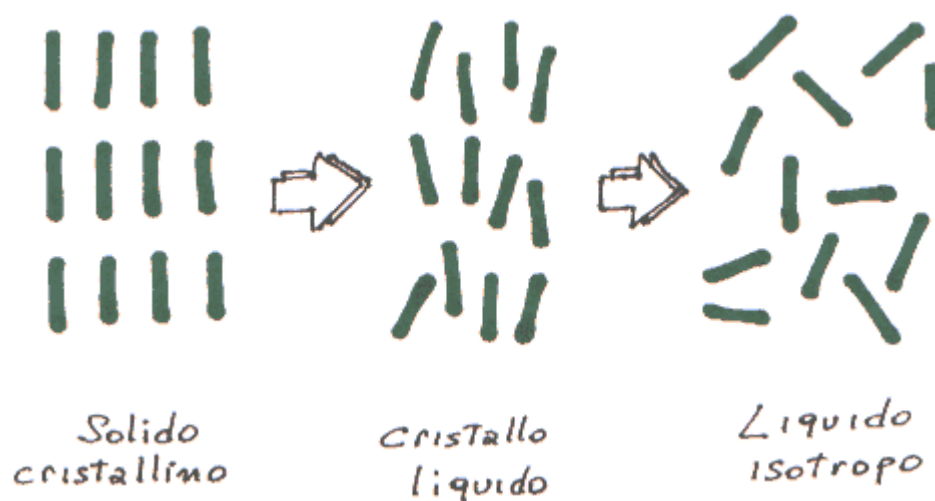
grado di uniformità delle prestazioni in molteplici punti dei manufatti architettonici.

Proprietà dei cristalli liquidi

La scoperta delle proprietà liquido-cristalline possedute da alcuni composti organici va fatta risalire agli ultimi anni del secolo scorso in seguito agli studi del botanico austriaco Reinitzer. Mentre maneggiava il benzoato di colesterina si rese conto che la sostanza pareva presentare due distinti punti di fusione, con formazione dapprima di una fase liquida piuttosto opalescente che successivamente diventava perfettamente limpida a più alta temperatura. Ritenne quindi che lo stato intermedio non fosse altro che una nuova fase della materia ove, in condizioni di fluidità tipiche dello stato liquido, vi fosse un grado di ordine molecolare che ricordava in qualche modo quello dei solidi cristallini. Proprio a causa delle caratteristiche intermedie tra quelle dei liquidi isotropi e quelle dei cristalli la nuova fase venne denominata liquido-cristallina. Di seguito sono schematizzate le differenze tra la fase cristallina, la fase liquida e la fase liquido-cristallina intermedia.

In un solido cristallino le molecole mostrano un alto grado di ordine sia posizionale che orientazionale, con pochissimi gradi di libertà traslazionali. In un liquido isotropo, al contrario, le molecole non hanno alcun ordine particolare e possiedono ampia libertà di movimento. Le molecole di un cristallo liquido si collocano in posizione intermedia, conservando una

certa libertà traslazionale pur con la tendenza ad assumere posizioni ed orientazioni preferenziali.



Come è facile intuire, a causa di queste particolarità i cristalli liquidi manifestano proprietà uniche che sono state di recente oggetto di numerosi studi da parte dei ricercatori. Principalmente l' anisotropia che deriva dalla preferenziale orientazione delle molecole dei cristalli liquidi ne rende possibile l' utilizzo in numerose applicazioni commerciali; i display LCD sono solo un esempio di queste tecnologie.

Le mesofasi

Negli anni successivi agli studi di Reinitzer numerose sono state le ricerche che hanno riguardato i cristalli liquidi e altrettanto numerose sono state le nuove scoperte. Per prima cosa si è visto che le fasi che manifestano proprietà liquido-cristalline possono essere di diversa natura a seconda del grado di ordine delle molecole che le compongono. Esse vengono denominate mesofasi, mentre prendono conseguentemente il nome di

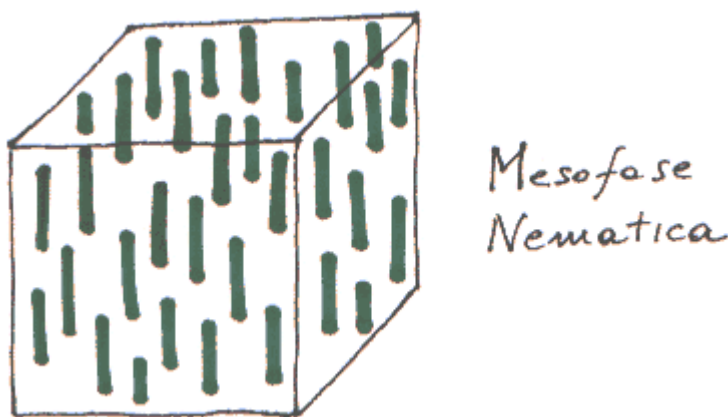
mesogeni tutti i composti organici che sono in grado di generare delle mesofasi. Le mesofasi sono le seguenti:

- Mesofase nematica
- Mesofase nematico-chirale (o colesterica)
- Mesofase smettica

Ciascuna di esse possiede delle caratteristiche peculiari che sono legate alla particolare disposizione delle molecole nella fase stessa.

Mesofase nematica

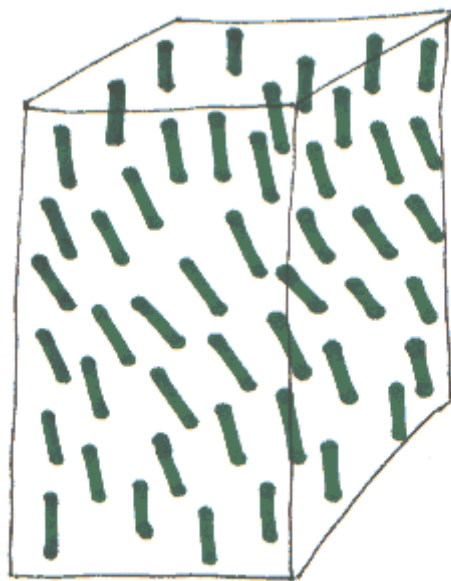
La mesofase nematica è costituita da molecole impaccate senza alcun ordine posizionale e caratterizzate soltanto da una comune orientazione preferenziale. L'asse risultante dalla orientazione preferenziale media delle molecole è detto direttore.



L'anisotropia del materiale sarà tanto più accentuata quanto maggiore sarà il grado di allineamento medio delle molecole.

Mesofase nematico-chirale (o colesterica)

La mesofase colesterica è strettamente correlata con la nematica, di cui ne costituisce soltanto una variante. In pratica la presenza di interazioni intermolecolari fa sì che ciascuna molecola rimanga disallineata di qualche grado rispetto a quelle che la circondano, con il risultato che l'orientazione delle molecole non è costante lungo tutta la fase.



Mesofase
colesterica

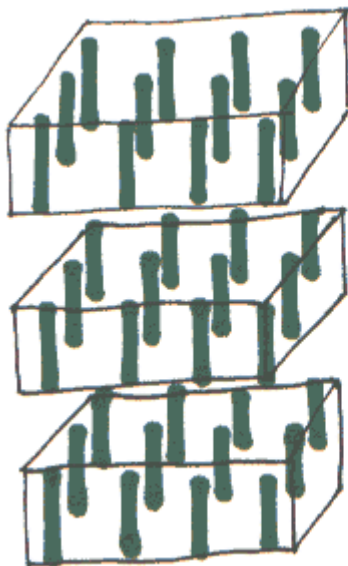
Il direttore segue cioè un andamento elicoidale il cui passo è tanto minore quanto maggiori sono i disallineamenti reciproci delle molecole.



Dal momento che questi disallineamenti dipendono generalmente dalla temperatura, anche il passo dell' elica varia al variare della temperatura. Questa proprietà è di particolare importanza poichè le mesofasi colesteriche sono in grado di riflettere selettivamente la luce visibile che ha una lunghezza d' onda pari alla lunghezza del passo. Una variazione di temperatura si manifesta quindi in una variazione di colore del cristallo liquido.

Mesofase smettica

La mesofase smettica è caratterizzata, rispetto alla nematica, da un maggior ordine molecolare. Oltre a possedere una preferenziale orientazione le molecole sono infatti arrangiate in piani sovrapposti, con minori gradi di libertà posizionali.



*Mesofase
Smettica*

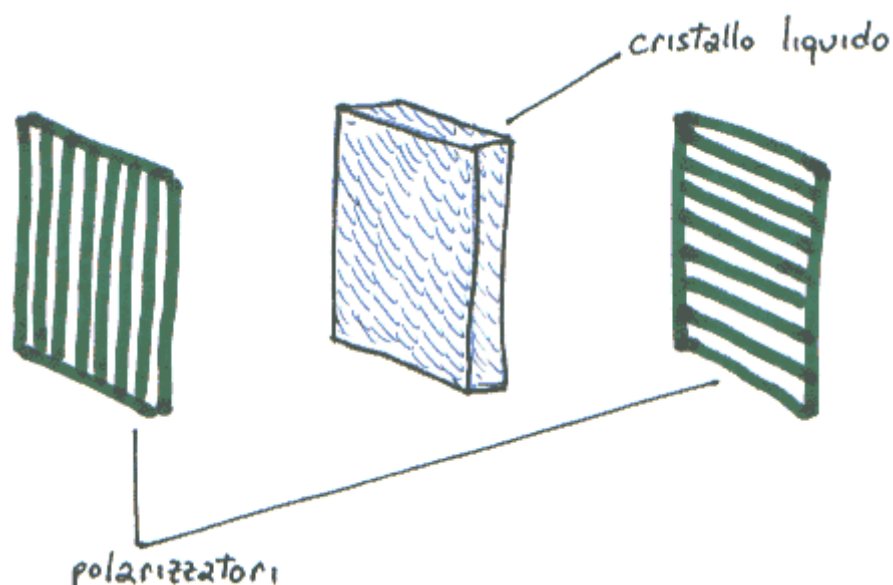
Di nuovo, come accade nel caso della mesofase colesterica, il direttore genera una struttura elicoidale dalla quale dipendono fortemente le proprietà macroscopiche della fase stessa.

Caratteristiche di interesse degli lcd

Il grande interesse legato all' utilizzo di cristalli liquidi nelle moderne applicazioni tecnologiche è sostanzialmente dovuto al fatto che le proprietà macroscopiche dei cristalli stessi possono essere variate per mezzo di perturbazioni esterne. Per esempio le molecole dei cristalli liquidi sono fortemente influenzate dalla presenza di campi elettrici o magnetici, con i quali tendono ad allinearsi.

Importante è anche il cosiddetto effetto di ancoraggio delle molecole dei cristalli liquidi a pareti di vetro opportunamente trattate. E' possibile trattare delle lastre di vetro in modo che quando esse entrano in contatto con delle molecole liquido-cristalline riescono ad indurre una orientazione preferenziale delle stesse in direzione parallela alla lastra stessa.

Altra caratteristica fondamentale dei cristalli liquidi, in particolare delle mesofasi nematiche, è la loro birifrangenza. Vale a dire che la luce polarizzata lungo l' asse del direttore ha un indice di rifrazione diverso (e quindi viaggia nel materiale ad una velocità diversa) da quella polarizzata in direzione normale al direttore stesso. Un fascio di luce polarizzata in una qualsiasi altra direzione viene dunque scomposta nelle due componenti, che escono sfasate dal cristallo dando luogo ad una polarizzazione circolare (o ellittica). Questo fenomeno è di particolare importanza per la colorazione dei cristalli nei display. La configurazione prevede la collocazione di un cristallo liquido nematico tra due polarizzatori sfasati di 90° .



Se un fascio di luce monocromatica (una unica lunghezza d' onda), dopo aver attraversato il primo polarizzatore entra nel cristallo liquido, essa subirà lo sfasamento delle sue componenti (a meno che non sia esattamente parallela o perpendicolare al direttore delle molecole). In ogni caso, dato che lo sfasamento aumenta all' aumentare dello spessore del cristallo, è sempre possibile scegliere uno spessore tale da far sfasare le due componenti esattamente di 360° , il che equivale a non sfasare nulla. In questo modo, dunque, qualunque sia la direzione di polarizzazione della luce monocromatica in ingresso rispetto al direttore del cristallo liquido non si avrà comunque alcuno sfasamento. Quindi la luce verrà bloccata dal secondo polarizzatore, che è esattamente orientato a 90° rispetto al primo. Vediamo invece cosa succede nel caso più generale di una luce bianca (che ha dunque tutte le lunghezze d' onda comprese nello spettro visibile) che, dopo essersi polarizzata attraversando il primo polarizzatore entra nel cristallo liquido. A parità di spessore di cristallo lo sfasamento sarà diverso per le diverse lunghezze d' onda, per cui vi saranno lunghezze d' onda per le quali lo sfasamento è 360° , mentre ve ne saranno altre che verranno

polarizzate circolarmente. Solo queste ultime, dato che possiedono componenti polarizzate in ogni direzione, saranno in grado di fuoriuscire dal secondo polarizzatore e pertanto il cristallo apparirà colorato. Variando lo spessore di cristallo attraversato dalla luce bianca sarà possibile variare il colore del cristallo liquido stesso.

Da ultima analizziamo la capacità dei cristalli liquidi colesterici di riflettere selettivamente le radiazioni con lunghezza d'onda pari alla lunghezza del passo dell'elica formata dal direttore delle molecole. Anche questa caratteristica è ampiamente sfruttata per l'ottenimento di cristalli liquidi colorati. Come già sottolineato, il passo della struttura elicoidale formata dal direttore delle molecole di una mesofase colesterica è fortemente dipendente dalla temperatura e generalmente aumenta all'aumentare di essa. Quindi i cristalli liquidi colesterici manifestano la caratteristica di riflettere selettivamente radiazioni di frequenza tanto più bassa quanto più la temperatura sale.

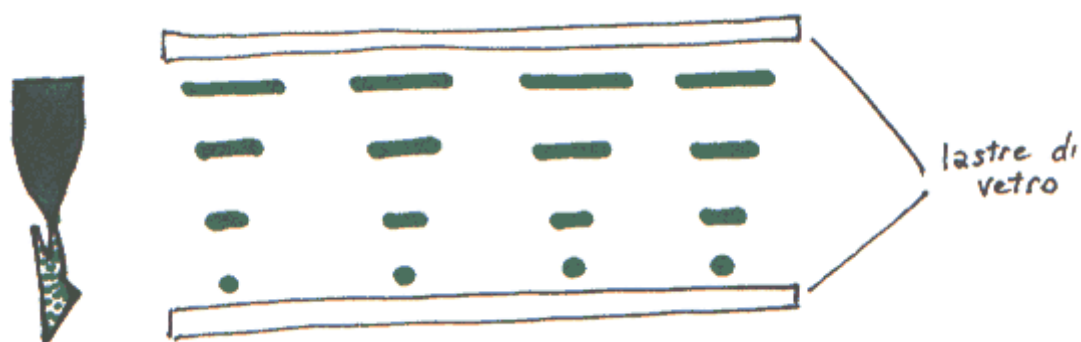
I display LCD

Con le nozioni appena descritte è possibile affrontare il capitolo relativo ai display, che rappresentano probabilmente l'applicazione di maggiore rilievo dei cristalli liquidi. Essi possono essere suddivisi in numerose tipologie.

Display TN

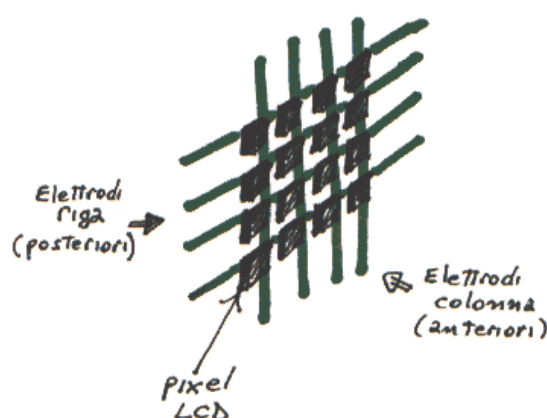
Il display TN (twisted nematic) è, o è stato probabilmente, il più diffuso grazie alla sua semplicità. E' costituito da una fase nematica che viene

collocata tra due lastre di vetro opportunamente trattate che fanno orientare le molecole del cristallo liquido parallelamente ad esse. Le due lastre sono tuttavia sfasate di 90° , in modo che le molecole adiacenti alla lastra superiore siano orientate perpendicolarmente a quelle della lastra inferiore. Nel cuore della fase liquido-cristallina le molecole tenderanno quindi ad assumere posizioni intermedie fino a generare una struttura elicoidale simile a quella della fase colesterica.



Esternamente alle due lastre di vetro, come si vede, sono anche collocati due polarizzatori con orientazione perpendicolare l'uno rispetto all'altro. In più, nei display cosiddetti riflettenti (che sfruttano cioè la stessa luce dell'ambiente per illuminarsi) vi è anche uno specchio collocato al di sotto del secondo polarizzatore. In pratica la luce dell'ambiente (che entra dall'alto) viene polarizzata dal primo polarizzatore ed entra nella fase liquido-cristallina. In virtù della disposizione simil-colesterica delle molecole la polarizzazione della luce incidente viene ruotata di 90° , cosicché la radiazione riesce a passare anche attraverso il secondo polarizzatore. Si ha dunque una successiva riflessione nello specchio, un nuovo passaggio attraverso il secondo polarizzatore, una nuova rotazione di 90° del piano di

polarizzazione indotto dalla fase liquido-cristallina e infine l'uscita dal primo polarizzatore. Il cristallo così descritto appare dunque illuminato. Se invece al cristallo è applicato un campo elettrico esterno perpendicolare ai piani delle due lastre di vetro, le molecole tenderanno ad orientarsi con il campo a dispetto dell'azione di ancoraggio delle due lastre stesse. La struttura elicoidale viene dunque rotta e di conseguenza la fase liquido-cristallina non è più in grado di ruotare il piano di polarizzazione della luce incidente. Poiché quindi la radiazione che entra dall'alto viene bloccata dal secondo polarizzatore il cristallo appare nero. Un display LCD è dunque composto da tante piccole zone (o pixel) che appaiono nere o illuminate a seconda se siano o meno sottoposte ad un campo elettrico esterno. A questo effetto si somma poi quello di colorazione precedentemente descritto. Nel caso di display di calcolatrici o comunque ogni volta che le "zone" da illuminare separatamente sono in numero limitato ciascuna zona è parte di un circuito elettrico separato. Quando invece i pixel sono in numero maggiore si ricorre ad un reticolo di elettrodi trasparenti disposti da un lato del cristallo (es. posteriormente) per riga e dall'altro (es. anteriormente) per colonna. L'attivazione di ogni singolo punto viene comandata da un meccanismo di indicizzazione rigaXcolonna, per cui ogni pixel si attiva quando passa corrente in entrambi gli elettrodi (anteriore e posteriore) che lo riguardano.



Il display TN è caratterizzato da un bassissimo consumo (usa la luce ambiente per illuminare lo schermo) ed ha quindi trovato subito numerose applicazioni nel campo dei computer portatili. Tra gli svantaggi vi sono però un contrasto piuttosto ridotto e un angolo di “corretta visione” piuttosto ristretto (circa 20°), dovuti anche alla presenza dello strato di elettrodi trasparenti davanti al video.

Display STN

Il display STN (supertwisted nematic) non è altro che una evoluzione del TN in cui le molecole della fase nematica (e quindi anche la luce polarizzata incidente) subiscono una rotazione di 270° invece che di 90°. I vantaggi principali da essi offerti sono un maggiore contrasto (circa il triplo) ed un maggiore angolo di “corretta visione” (circa il doppio) rispetto ai TN. Presentano tuttavia maggiori problemi di birifrangenza, per cui qualche volta possono verificarsi “shift” del colore della luce emergente. Esistono comunque opportuni metodi correttivi che permettono di ovviare a questi inconvenienti.

Display TFT

Il display TFT (thin film transistor) rappresenta l'ultima frontiera in fatto di display a cristalli liquidi. Nel display TFT l'indirizzamento rigaXcolonna di ogni singolo pixel avviene tutto alle spalle del display stesso e i pixel sono attivati da un apposito transistor. Quindi non è più necessario porre davanti al video una serie di elettrodi-riga o di elettrodi-colonna mentre è sufficiente la presenza di una unica lastra trasparente con funzioni di "terra". Il contrasto può dunque quadruplicare rispetto agli STN e anche l'angolo di visuale risulta leggermente più ampio. E' chiaro, tuttavia, che la maggiore complessità tecnologica dei TFT e dunque il loro maggiore costo ne limita (per ora) l'utilizzo ad applicazioni prevalentemente professionali.

Miglioramenti dei vetri a cristalli liquidi

Entrati in produzione da circa dieci anni i PDLC (Polymer Dispersed Liquid Crystal) sono oggi, tra i dispositivi a trasparenza variabile, i più commercializzati. Pur rimanendo invariato il funzionamento, nel corso degli ultimi anni la competizione tra le aziende produttrici ha dato notevoli risultati di perfezionamento del sistema. L'innovazione riguarda:

- l'allungamento della durata (da 4 a 6 anni);
- la riduzione di energia di attivazione (da 120 a 30V);
- l'aumento dell'escursione del campo termico esterno al dispositivo (da -40°C a 40°C fino a 70°C);
- il potenziamento della rapidità della risposta (10 millisecondi a 20°C);
- una maggiore opacità;

- il miglioramento della deformazione ottica (sfuocamento nello stato trasparente della visibilità in incidenza obliqua)
- l'utilizzazione di conduttori più economici per contenere il prezzo di vendita.

Anche se il dispositivo può funzionare con un'alimentazione del campo elettrico regolata in intensità da un potenziometro, i prodotti disponibili sul mercato prevedono solo un interruttore con posizione ON-OFF. La regolazione intermedia non dà ancora garanzie di lunga durata, anzi compromette la reversibilità.

Il pdlc

Il PDLC (Polymer Dispersed Liquid Crystal) è un dispositivo in cui le particelle di cristalli liquidi (la cui dimensione è nell'ordine del micrometro) risultano incapsulate, in ordine sparso, in una matrice polimerica. Le particelle vengono inserite tra due elettrodi trasparenti di poliestere rivestito con un rivestimento di ossido di indio (ITO) si crea così un campo elettrico orientato se è attiva l'alimentazione. Nello stato non attivato, le molecole di cristalli liquidi sono casualmente orientate, per cui la luce incidente risulta diffusa, a causa del mancato allineamento tra le particelle ed il mezzo circostante. Il materiale assume di conseguenza una colorazione lattea. Quando viene applicato un voltaggio sufficientemente alto, le molecole disperse vengono orientate in direzione del campo elettrico inserito, per cui la luce incidente in modo normale alla superficie, non viene intercettata e rifratta e il materiale si conserva

trasparente.

Variando l'orientamento delle molecole di cristalli liquidi all'interno del dispositivo, è quindi possibile variarne le caratteristiche ottiche. I dispositivi "nematici intrecciati" sono utilizzati per display elettronici, ma hanno bisogno di filtri polarizzanti che ne riducono la trasparenza. Sono di piccole dimensioni in quanto ad oggi è difficile avere lastre polarizzate da applicare ad ampie superfici. Un notevole sviluppo lo stanno avendo i "colesterici nematici" come i GUEST-HOST (cristalli misti a molecole dicroiche) i quali sono stati studiati proprio per avere reazione veloce e per questo trovano un vantaggioso impiego negli specchietti delle automobili e negli occhiali. In architettura i vetri con dispositivo a cristalli liquidi sono prevalentemente utilizzati come elementi di divisione di spazi interni. Utilizzati come pregiato elemento d'arredo hanno il vantaggio di inibire temporaneamente l'introspezione visiva di due ambienti mantenendo allo stesso tempo un'alta trasmissione della luce come ad esempio: sale riunioni e uffici, reception e ristoranti. Altre applicazioni sono per vetrine di negozi e sportelli bancari, uffici postali e gioiellerie. Nelle aree di self-banking, bancomat questi dispositivi, facendo diventare opaco in diaframma trasparente della porta al momento dell'ingresso, garantiscono la privacy al prelievo ritornando ad essere trasparenti ad operazione conclusa.

Prodotti in commercio in Italia

Denominazione del prodotto: VARILITE

Azienda produttrice: ISOCLIMA *Indirizzo:* ISOCLIMA SpA – Via A. Volta, 14 –
35042 Este (PD) ITALIA

Dimensione pannelli: larghezza max. mm. 900

lunghezza max. mm. 2600

spessore max. mm mm.9

Alimentazione elettrica: 60V ca

Consumo: 20 W/ mq

Proprietà ottiche:

fattore di trasmissione luminosa

stato attivato 82%

stato disattivato 74%

– fattore di trasmissione solare

stato attivato 80%

stato disattivato 60%

Sistema di attivazione: interruttore a comando manuale ON-OFF

Costo a mq.: L.2 450 000

Denominazione del prodotto: PRIVA-LITE

Azienda produttrice: Saint-Gobain *Indirizzo:* Saint-Gobain Vetro Italia SpA
– Via Romagnoli, 6 – 20146 Milano

Dimensione pannelli: mm. 305 x 405 mm.

max. 1000 x 2800 mm.spessore standard 10,12 e14 mm.

Alimentazione elettrica: 120V ca

Consumo: 50 W/ mq

Proprietà ottiche:

fattore di trasmissione luminosa

stato attivato 75% (vetro semplice) 67,3% (vetro doppio)

stato disattivato 74,8% (vetr. semp.) 66,9% (vetr. dop.)

Sistema di attivazione: interruttore a comando manuale ON-OFF

Costo a mq.: L.2.200.000

VETRI LCD COME SCHERMATURE

SEMIAD FUNZIONAMENTO ALTERNATIVO IN SECONDO L'ASPIRANTE

SEMIAD FUNZIONAMENTO ALTERNATIVO IN SECONDO L'ASPIRANTE

SEMIAD FUNZIONAMENTO ALTERNATIVO IN SECONDO L'ASPIRANTE

FUNZIONAMENTO LASTRA

SEMIAD FUNZIONAMENTO ALTERNATIVO IN SECONDO L'ASPIRANTE

SEMIAD FUNZIONAMENTO ALTERNATIVO IN SECONDO L'ASPIRANTE

SEMIAD FUNZIONAMENTO ALTERNATIVO IN SECONDO L'ASPIRANTE

SEMIAD FUNZIONAMENTO ALTERNATIVO IN SECONDO L'ASPIRANTE

SEMIAD FUNZIONAMENTO ALTERNATIVO IN SECONDO L'ASPIRANTE

SEMIAD FUNZIONAMENTO ALTERNATIVO IN SECONDO L'ASPIRANTE

SEMIAD FUNZIONAMENTO ALTERNATIVO IN SECONDO L'ASPIRANTE

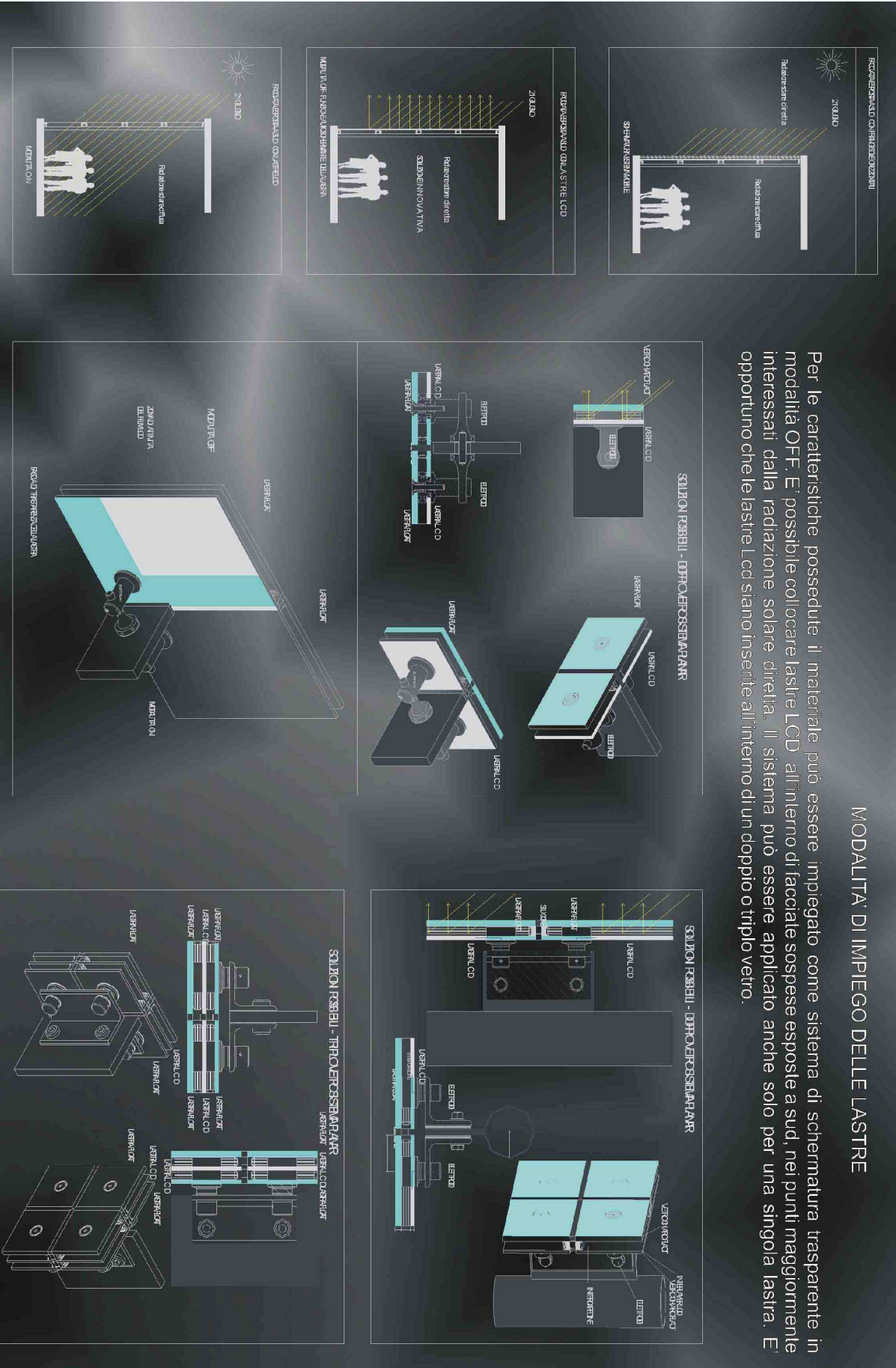
SEMIAD FUNZIONAMENTO ALTERNATIVO IN SECONDO L'ASPIRANTE

Elementi fissi
Nel caso di elementi fissi (pareti divisorie, vetrine ecc.) è possibile avere lastre LCD senza telai. Si utilizzano lastre forate alle estremità, il diametro dei fori dipende dallo spessore dei vetri. Per lastre 2800x1000mm il diametro dei fori pari a 13 mm all'interno dei fori vengono alloggiati degli



Modalità di funzionamento
I vetri LCD vengono azionati mediante un interruttore on/off. L'interruttore, collegato alla rete primaria (230V, 50 Hz), aziona un relè che modula il passaggio di tensione elettrica nella lastra, passando da 230 V (rete elettrica) a 100 V.

Specifiche tecniche del relè
Tensione di attivazione 230V +/-10% 50Hz, max. 10mA.
Tensione massima in entrata 115V 50Hz.
Temperatura di funzionamento compresa tra -10°C e +40°C.
Protezione dai corti



CATALOGAZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE

Partizioni interne

Dati generali dell'intervento

BT Auditorium and Media Centre, Londra, 2000

Progettisti: Ian Logan, Aukett Europ, London

Installazioni: Saint-Gobain Glass Solutions

Finalità dell'intervento

Realizzazione di pareti vetrate divisorie interne all'auditorium con l'utilizzo di cristalli liquidi che consentono di ottenere totale trasparenza o opacità delle pareti stesse nascondendo o meno la vista degli spazi privati della struttura

Principali caratteristiche dell'intervento

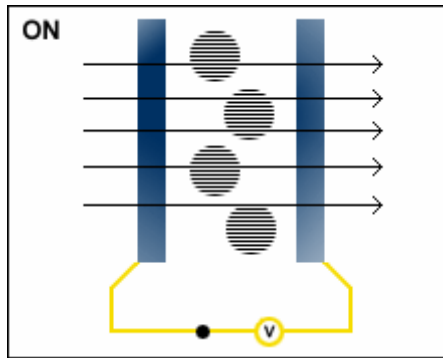
- Elevato livello di privacy
- Contributo all'immagine dell'azienda committente
- Performance acustiche
- Possibilità di variare la configurazione delle singole
- Lastre in modo indipendente

Requisiti

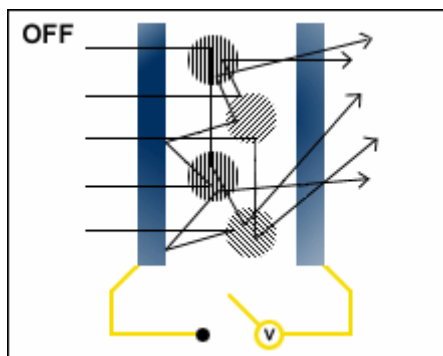
- Trasmissione della stessa quantità di luce (approssimativamente 77%) sia nello stato trasparente che in quello opaco
- Facilità di pulizia delle parti
- Elevate capacità di isolamento acustico
- Rispondenza ai requisiti di sicurezza e resistenza meccanica in luoghi pubblici e di particolare affollamento

Funzionamento della parete in modalità ON





Funzionamento della parete in modalità OFF



CATALOGAZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE

Facciate esterne

Dati generali dell'intervento

VEAG German Office, Berlino

Progettisti: Kny & Weber and Konzepte, Berlin

Installazioni: Kommunikation Gmnh

Finalità dell'intervento

Realizzazione di parti di facciata esterna dell'edificio con l'utilizzo di cristalli liquidi che consentono un duplice utilizzo; quello di ottenere totale trasparenza o opacità della facciata stessa nelle diverse ore della giornata ed a seconda del diverso utilizzo degli ambienti e la possibilità di retroproiettare immagini statiche o in movimento sulla facciata con il risultato finale di promozione ed autosponsorizzazione

Principali caratteristiche dell'intervento

- Contributo all'immagine dell'azienda committente
- Possibilità di ricavi economici dovuti alla proiezione di pubblicità
- Doppio utilizzo della facciata come "shop window"

Requisiti

- Miglioramento del confort interno
- Resistenza all'acqua ed agli agenti atmosferici
- Senza specifiche manutenzioni
- Possibilità di integrare i film a cristalli liquidi
- In facciate vetrate realizzate con lastre singole stratificate
- Possibilità di ottenere elementi curvi e trattati con stampe o serigrafie





CATALOGAZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE

Partizioni interne

Dati generali dell'intervento

Brussels center–Luxembourg train station, Brussel

Progettisti: SNCB (Belgium railway)

Installazioni: SNCB (Belgium railway)

Finalità dell'intervento

Realizzazione di pareti vetrate divisorie interne alla stazione ferroviaria con l'utilizzo di cristalli liquidi che consentono di ottenere totale trasparenza o opacità delle pareti stesse nascondendo o meno la vista degli spazi privati e garantendo privacy e sicurezza

Principali caratteristiche dell'intervento

- Prevenzione e sicurezza
- Contributo all'immagine dell'azienda committente
- Design originale
- Rispondenza alle norme di sicurezza
- Proiezione o retroproiezione di informazioni per i viaggiatori

Requisiti

- Elevato livello di privacy
- Possibilità di integrazione con vetri blindati
- Possibilità di integrazione con vetri e sistemi resistenti al fuoco
- Consumo di energia elettrica per l'attivazione e disattivazione del sistema
- Garanzia di 5 ani sul prodotto



CATALOGAZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE

Schermi

Dati generali dell'intervento

Milkmuseum

Progettisti: Groupe Besnier, Laval, France

Installazioni: Milkmuseum

Finalità dell'intervento

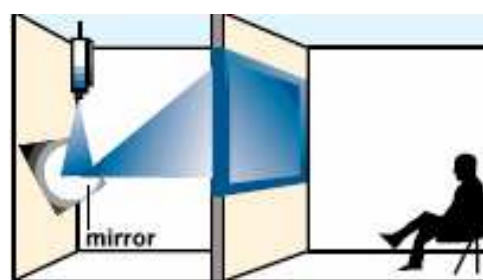
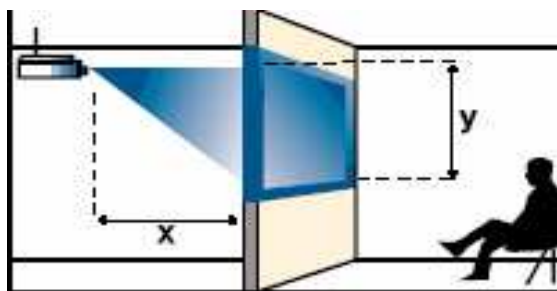
Realizzazione di pareti vetrate divisorie interne al museo con l'utilizzo di cristalli liquidi che consentono di ottenere totale trasparenza o opacità delle pareti stesse. Nel caso di opacità le pareti vengono utilizzate come schermi su cui proiettare immagini statiche o in movimento

Principali caratteristiche dell'intervento

- Alta risoluzione
- Differenti contrasti relativi al differente colore utilizzato per il vetro
- Possibilità di proiezione su ambo i lati in contemporanea
- Elevato impatto di tipo comunicativo ed artistico
- Integrazione con vetri dalle ottime prestazioni meccaniche

Requisiti

- Eccellente superficie per proiezione su ambo i lati ad alta risoluzione
- Possibilità di controllare il livello di luminosità e di colore della superficie-schermo
- Possibilità di ottenere diversi effetti a seconda della
- Regolazione degli stati di trasparenza-opacità
- Possibilità di ottenere elementi curvi per proiezioni che ne necessitano



CATALOGAZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE

Schermi

Dati generali dell'intervento

Airbus A340

Progettisti: Cathay Pacific Airlines

Installazioni: Cathay Pacific Airlines

Finalità dell'intervento

Realizzazione di pareti vetrate divisorie interne del veivolo con l'utilizzo di cristalli liquidi che consentono di ottenere totale trasparenza o opacità delle pareti stesse garantendo la suddivisione tra le diverse parti-classi dell'aereo e funzionando inoltre come schermi per la proiezione di informazioni e filmati durante il volo

Principali caratteristiche dell'intervento

- Trasporto
- Contributo all'immagine dell'azienda committente
- Elevata durata senza manutenzioni straordinarie
- Rispondenza alle norme di sicurezza
- Privacy

- Duplice utilizzo

Requisiti

- Nuova offerta nel campo delle soluzioni per il settore dei trasporti
- Soluzioni innovative e di impatto
- Elevata qualità di design
- Eye-catching



CATALOGAZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE

Schermi

Dati generali dell'intervento

Media Gallery

Progettisti: /

Installazioni: Bertelsmann expo2000, Hanover

Finalità dell'intervento

Realizzazione di installazioni con l'utilizzo di cristalli liquidi che consentono di ottenere superfici su cui proiettare immagini statiche o in movimento

Principali caratteristiche dell'intervento

- Marketing e comunicazione
- Contributo all'immagine dell'azienda committente
- Animazioni multimediali
- Videoarte
- Differente percezione

Requisiti

- Soluzioni innovative e di impatto

- Elevata qualità di design



CATALOGAZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE

Schermi

Dati generali dell'intervento

Bombay Sapphire fish tanks

Progettisti: /

Installazioni: Heathrow Airport Terminal 4, 2001

Finalità dell'intervento

Realizzazione di installazioni con l'utilizzo di cristalli liquidi che consentono di ottenere superfici su cui proiettare immagini statiche o in movimento

Principali caratteristiche dell'intervento

- Marketing e comunicazione
- Contributo all'immagine dell'azienda committente
- Animazioni multimediali
- Videoarte
- Differente percezione

Requisiti

- Soluzioni innovative e di impatto

- Elevata qualità di design

Funzionamento della parete in modalità ON



Funzionamento della parete in modalità OFF



Riferimenti bibliografici di carattere generale

Campioli A., *Il contesto del progetto. Il costruire contemporaneo tra sperimentalismo high-tech e diffusione delle tecnologie industriali*, FrancoAngeli, Milano, 1993

Campioli A., Innovazione molteplice, in Atti 1/99, Incontri dell'Annunziata, giornate dell'innovazione tecnologica, Facoltà di Architettura di Ascoli Piceno, 16-17 giugno 1998, Dipartimento di progettazione e costruzione dell'ambiente, Ascoli Piceno, 1999

Caturano U., (a cura di), *Le tecnologie dei materiali tra progetto e innovazione*, Franco Angeli, Milano, 1996

Ciribini G., *Tecnologia e progetto*, Celid, Torino, 1984

Gangemi V., (a cura di), *Cultura e impegno progettuale*, Franco Angeli, Milano, 1992

La Creta R. – Truppi C., (a cura di), *L'architetto tra tecnologia e progetto*, Franco Angeli, Milano, 1994

Losasso M., *Architettura tecnologia e complessità*, Clean, Napoli 1991

Nardi G., *Tecnologia dell'architettura e industrializzazione nell'edilizia*, Franco Angeli, Milano, 1982

Nardi G. et al, *Frammenti di coscienza tecnica*, Franco Angeli, Milano, 1994

Peguiron G., *Il progetto esecutivo in architettura*, in R. La Creta e C. Truppi, (a cura di), *L'architetto tra tecnologia e progetto*, FrancoAngeli, Milano, 1994

Prestinenza Puglisi L., *Hiper Architettura. Spazi nell'età dell'elettronica*, Universale di Architettura, Testo e Immagini, Torino, 1998

Prestinenza Puglisi L., *This is Tomorrow*, Controsegni, Testo e Immagini, Torino, 1999

Vitale A. et al, *Architettura e costruzione*, Franco Angeli, Milano 1994

Vitale A. et al, *Argomenti per il costruire contemporaneo*, Franco Angeli, Milano 1995

Riferimenti bibliografici di carattere specifico

AA. VV., *Ove Arup & partners*, Arup, London, 1994

AA.VV., *NEXT- mostra internazionale di Architettura 2002*, Marsilio, Venezia, 2002

AA. VV., *Info box - the catalogue*, Nishen Kommunikation GmbH &Co KG, Berlin, 1998

Gössel P. , Leuthäuser G., *L'Architecture du XX° siècle*, Taschen, Köln, 1991

Guccione M., (a cura di), *Zaha Hadid opere e progetti*, Umberto Allemandi & C., Torino, 2002

Koolhaas R., (a cura di), *Mutations*, catalogo della mostra Mutations, Arc en Reve, Bordeaux, Actar, 2001

Libeskind D., *Between the lines*, Prestelm, Munich, 1991

MVRDV, *Metacity Datatown*, Olo Publishers, Rotterdam, 1999

Joddio P., *Building a new millennium*, Taschen, 2000

Pawley M., *Norman Foster, Architettura globale*, (traduzione di F. Peracchini e M. Gioni), Rizzoli, Milano, 1999

Piano R., *Diario di bordo*, Passigli, Firenze, 1997

Rogers R., *Cities for a small planet*, Faber and Faber, London, 1997

Tschumi B., *Architecture and Disjunction*, MIT press, Cambridge Mass., 1996

Venturi R., *Iconography and electronics upon a generic architecture. A view from the drafting room*, MIT press, Boston, 1997

Riviste

Andreotti G., Albanese S., *Specchio dele mie brame...*, in Modulo n°252, giugno 1999

Ballare S., *Architetture di vetro e metallo*, in Modulo n°270, aprile 2001

Ballare S., *Ad ogni vetrata il suo fissaggio*, in Modulo n°302, giugno 2004

Conato F., *La tecno-architettura delle facciate*, in Modulo n°303, luglio-agosto 2004

Eisenman P., *Vision Unfolding: Architecture in the age of electronic media*, in Domus, N° 734, 1992

Ito T., *Gardens of microchips: the architectural image of the microelectric age*, in JA Library 2, 1993

Ito T., *L'immagine dell'architettura nell'era dell'elettronica*, in Domus, N° 800, 1998

Koolhaas R., *Alla ricerca del nuovo modernismo*, in Domus, N° 800, 1998

Maffei A., *La Mediateca di Sendai: un organismo scomposto*, in Casabella, n. 684-685, 2000

Nardi G., *La cultura dell'innovazione*, in l'Almanacco dei materiali dell'architettura, supplemento all'Arca, n°100, 1994

Rogers R., *Pensare e costruire per parti*, In Domus n° 754, 1993

Serra V., D'Adderio L., Filippi, *A trasparenza variabile*, in Modulo n°205,
ottobre 1994

Toyo I., *Allestimento alla Basilica Palladiana*, in Casabella, n. 694, 2001

Tucci F., *Thomas Herzoh*, in Modulo n°302, giugno 2004

Siti web

www.matech.it

MaTech® è un gruppo aziendale, con esperienza in settori tecnologici diversi, che si occupa di ricerca sui materiali e collabora con le aziende nello sviluppo di nuovi progetti e nella soluzione di problematiche tecnologiche.

www.pilkington.com

Pilkington è all'avanguardia nello sviluppo dei prodotti vetrari. Le categorie di utilizzo di tali prodotti sono: Risparmio Energetico, Antifuoco, Antirumore, Antinfortuno, Sicurezza, Decorazione, Sistemi di facciate in vetro, e Applicazioni Speciali.

www.isoclima.net

azienda vetraria di trasformazione per l'edilizia, ISOCLIMA ha sviluppato negli anni nuove tecnologie per la realizzazione di vetri ad elevato contenuto tecnologico e qualitativo apprezzati nel settore Aeronautico, Navale, Ferrotranviario e nel mondo dell'Architettura.

www.saint-gobain-glass.com

Fondata nel 1665, su iniziativa di Colbert e per volere di Luigi XIV per avviare la produzione di specchi in Francia, [SAINT-GOBAIN](http://www.saint-gobain-glass.com) è oggi il primo produttore mondiale di vetro.

La divisione vetro produce, trasforma e commercializza prodotti destinati ai mercati dell'auto e dell'edilizia oltre a vetri speciali per settori specifici quali l'aviazione e i trasporti.

www.climalit.it

Leader delle vetrate isolanti in Italia ed in Europa, identifica le vetrate isolanti di tipo tradizionale costituite da due lastre di vetro separate da un'intercapedine d'aria secca e opportunamente sigillata con una doppia barriera a tenuta stagna.

www.pleotint.com

Pleotint L.L.C. è un'azienda con conoscenze avanzate nel campo delle tecnologie di tipo termocromiche, fotocromiche ed elettrocromiche.